

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“ КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ Я.М. Корнієнко

“ ____ ” _____ 2018 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття освітнього ступеня магістр

з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

спеціалізація: Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування
обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

**на тему: Модернізація реакторного блоку установки виробництва базових
компонентів синтез-бензину з розробкою реактора та холодильника**

Виконав студент 6-го курсу, групи ЛН-71мп

Іваненко Максим Сергійович

(підпис)

Керівник проекту канд. техн. наук, доцент А.Р. Степанюк

(підпис)

Консультанти:

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд. техн. наук, доцент І.М. Ковтун

(підпис)

розробка стартап-проекту

канд. екон. наук, доцент Н.В. Юдіна

(підпис)

технологія виготовлення труби реактора

канд. техн. наук, старш. викл. Я.Г. Двойнос

(підпис)

автоматичний контроль і керування процесом

канд. техн. наук, старш. викл. Я.Г. Двойнос

(підпис)

Рецензент

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2018

Зміст

Вступ.....	14
1. Призначення та область використання установки каталітичного риформінгу.....	15
1.1 Опис технологічного процесу.....	15
1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі	16
1.2.1 Вибір типу реактора та його місце в технологічній схемі.....	16
1.2.2 Вибір типу холодильника та його місце в технологічній схемі.....	17
2 Технічні характеристики основних апаратів установки	18
3. Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів.....	20
3.1 Конструкції та принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей.....	20
3.1.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць реактора.....	20
3.1.2 Опис конструкції, основних складальних одиниць холодильника.....	21
3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкції апаратів з аналогами	21
3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів	24
3.4 Патентне дослідження	25
4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	34
4.1 Електробезпека	34
4.2 Безпека технологічних процесів і устаткування.....	36
4.3 Безпека впливу частин, що рухаються і обертаються.....	38
4.4 Виробниче освітлення.....	38
4.5 Шум і вібрація	38
4.6 Повітря робочої зони	39
4.7 Надзвичайні ситуації.....	40
5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції..	43
5.1 Розрахунок ректора каталітичного риформінгу	43

5.2 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки під дією внутрішньогонадлишкового тиску	65
5.3 Розрахунок вітрового навантаження	67
5.4 Розрахунок ізоляції	76
5.6 Параметричний розрахунок повітряного холодильника.....	77
5.7 Розрахунок гідравлічного опору.....	89
5.7 Розрахунок діаметра штуцерів.....	92
5.8 Розрахунок розміщення отворів в трубній решітці	93
5.9 Розрахунок товщини трубної решітки	94
6 Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апаратів установки каталітичного риформінгу	96
6.1 Реактор.....	96
6.1.1 Рекомендації, щодо монтажу реактора	96
6.1.2 Рекомендації, щодо експлуатації реактора.....	97
6.2 Холодильник.....	97
6.2.1 Рекомендації, щодо монтажу холодильника	97
6.2.2 Рекомендації, щодо експлуатації холодильника.....	99
7 Рівень стандартизації та уніфікації	101
7.1 Рівень стандартизації та уніфікації реактора	101
7.2 Рівень стандартизації та уніфікації холодильника	101
8. Розроблення стартап - проекту	103
8.1. Опис ідеї проекту	103
8.2 Технологічний аудит ідеї проекту	105
8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	106
8.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером	109
8.5 Розроблення ринкової стратегії ринку	113
8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	115
8.7 Висновки	119
Висновок	120
Вывод.....	121

Conclusion.....	122
Перелік посилань.....	123
Додаток А.....	127
Додаток Б	134
Додаток В	145
Додаток Г	146
Додаток Д.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Е	Ошибка! Закладка не определена.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні позначення:

h – висота, м;

c – прибавка до розрахункової товщини, м;

D, d – діаметри, м;

N – потужність, Вт;

w – швидкість, м/с;

G – масова витрата, кг/с;

P – тиск, Па;

T – температура, К;

ρ – густина, кг/м³;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м² / с;;

x, y – мольна концентрація, кмоль/кмоль;

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м² · К;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м² · К.

Критерії:

Nu – критерій Нуссельта;

Re – критерій Рейнольдса;

Pr – критерій Прантдля.

Вступ

Каталітичний риформінг бензинів є найважливішим процесом сучасної нафтопереробки і нафтохімії. Він служить для одночасного отримання високооктанового базового компонента автомобільних бензинів, ароматичних вуглеводнів, сировини для нафтохімічного синтезу, і водневмісного газу – технічного водню. Каталітичний риформінг в наш час є найпоширенішим методом каталітичного облагородження прямогонних бензинів. Установки каталітичного риформінгу є на всіх вітчизняних і зарубіжних нафтопереробних заводах.

Процес каталітичного риформінгу здійснюють при порівняно високій температурі і середньому тиску, в середовищі водневмісного газу з великим вмістом водню (70-80 % об.). Це дозволяє підвищити температуру процесу, не допускаючи глибокого розкладу вуглеводнів і значного коксоутворення. В залежності від призначення процесу, режиму і каталізатора вихід і якість продуктів, що одержуються значно змінюються. Однак, загальним є утворення ароматики і водневмісного газу.

Сировиною для каталітичного риформінгу служать бензинові фракції прямої перегонки: широка фракція 85-180 °С для отримання високооктанового бензину, фракції 62-65, 85-115 і 115-150 °С для отримання бензолу, толуолу і ксилолів відповідно. Іноді до бензинової фракції додають низькооктанові бензини коксування, термічного крекінгу. Сірка, що міститься в сировині, викликає отруєння (деактивацію) каталізатора, тому платформінгом зазвичай передуює гідроочистка сировини. Мінімальний ступінь дезактивації каталізатора досягається при використанні сировини, що містить 0,01% (мас.) сірки.

Метою дипломного проекту є інтенсифікація установки каталітичного риформінгу зі стаціонарним шаром каталізатору, обґрунтування вибору апарата, матеріала, модернізації та розрахунків. Уміння автоматизації процесу та обґрунтування його економічну доцільність.

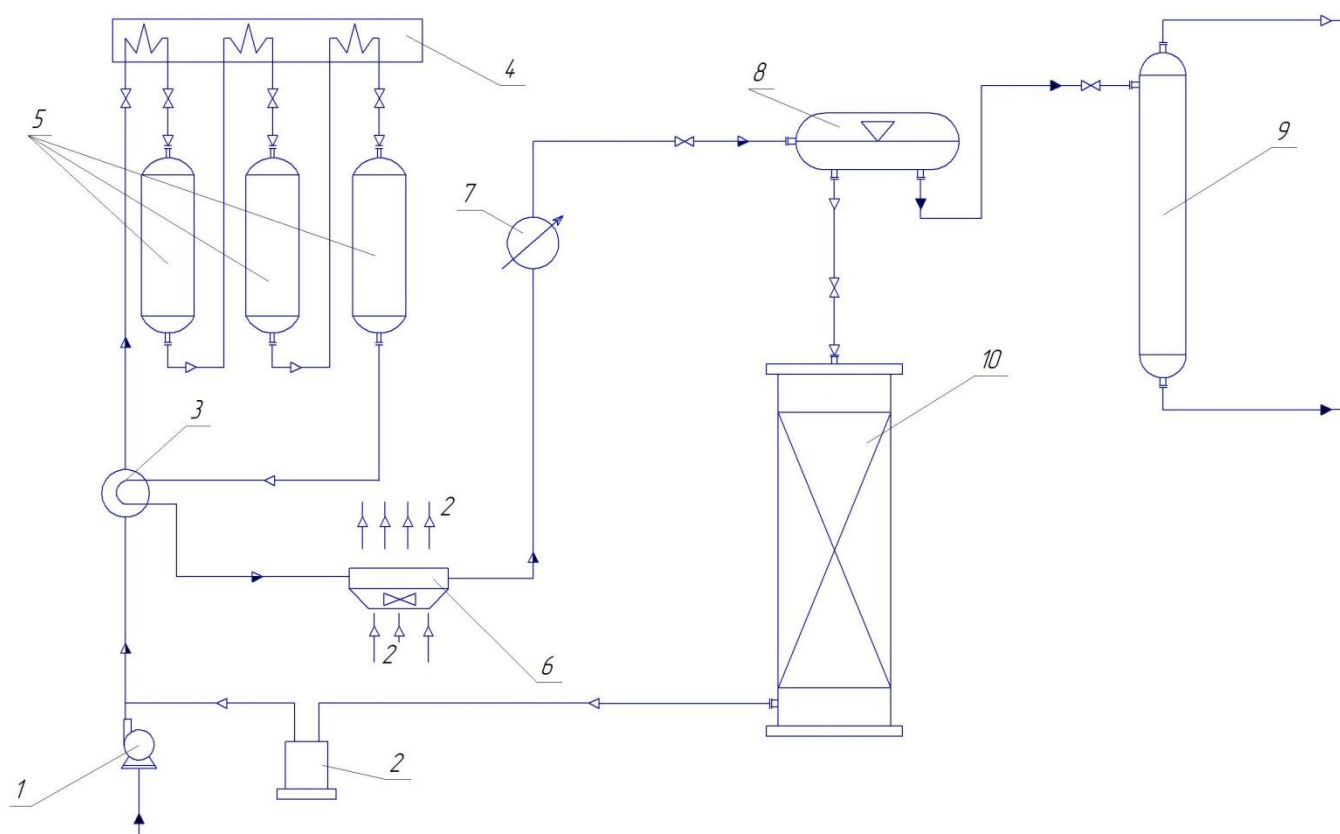
					<i>ЛН71мп.066632.001 ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Призначення та область використання установки каталітичного риформінгу

1.1 Опис технологічного процесу

У технологічній схемі риформінгу працюють реактори з нерухомим шаром каталізатора. Цикл роботи установки риформінгу включає чотири стадії: процес реакції, відділення газу, стабілізацію і охолодження бензинової фракції.

Технологічна схема риформінгу показана на рисунку 1.1.



1 – насос для сировини, 2 – компресор, 3 – теплообмінник,
4 – багатоканальна піч, 5 – реактори, 6 – повітряний холодильник,
7 – водний холодильник, 8 – сепаратор, 9 – стабілізаційна колона,
10 – адсорбер для осушення циркуляційного газу;
Рисунок 1.1 – Технологічна схема установки каталітичного риформінгу

Сировина з блоку гідроочищення надходить до насоса 1, який подає його в трійник змішування на змішання з циркулюючим водневмісним газом, що надходить з циркуляційного компресора 2. Суміш сировини і водневмісного газу в теплообміннику 3 підігрівається газопродуктовим потоком, що виходить з реактора 5, підігрівається в першій секції печі 4 і надходить в реактор 5, потім підігрівається в другій секції печі 4, проходить реактор 5, потім проходить третю секцію печі 4 і проходить в реактор 5. Газопродуктова суміш після реактора 5 віддає частину свого тепла газосировинному потоку в теплообміннику 3, охолоджується в холодильнику 6 і надходить у газосепаратор 8. Тут відбувається відділення водневмісного газу від рідкого продукту - нестабільного каталізатору.

Водневмісний газ із сепаратора 8 направляється на видалення надлишкової вологи в адсорбер 10 і подається на циркуляційний компресор 2, який знову подає його на змішування з сировиною.

1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі

1.2.1 Вибір типу реактора та його місце в технологічній схемі

Реактор в технологічній схемі знаходиться після печі і виконує функцію каталітичного реформінгу.

Реактори установок каталітичного риформінгу відносять до апаратів проточного типу (безперервної дії).

Основою для класифікації реакторів процесів каталітичного риформінгу можуть бути термодинамічні й фізичні характеристики потоків, що проходять через реактор, напрямки їх руху, матеріальне виконання корпусу й внутрішніх деталей і конструктивні особливості, способи розміщення й регенерації каталізатора.

За термодинамічною ознакою реакційні апарати можуть бути розділені на реактори адіабатичного й політропічних типів.

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У вітчизняних установках каталітичного риформінгу застосовуються тільки реактори адіабатичного типу із суцільним шаром каталізатора, несекціоновані.

За способом направлення потоку реактори розділяються на апарати з аксіальним рухом потоку зверху вниз (або знизу нагору) і з радіальним від периферії до центру.

Для процесу риформінгу використано вертикальний реактор з нерухомим шаром каталізатора.

Схема установки -однопоточна. Сировина змішується з циркуляційним газом з вмістом водню, надходить в між трубний простір теплообмінника 3, догрівається в печі 4 до температури реакції і направляється в перший реактор, який саме розглядається в даній роботі.

Риформінг відбувається екзотермічно, тому для відновлення температури в зоні реакції встановлюються три реактори з міжступінчатим підігрівом газосировинної суміші в другій і третій секції багатокамерній печі до температури 525 С.

1.2.2 Вибір типу холодильника та його місце в технологічній схемі

Місце холодильника в технологічній схемі знаходиться після теплообмінника и виконує функцію охолодження реагентів для подальшого транспортування. При виборі холодильника необхідно враховувати також простоту пристрою і компактність апарату, витрати металу на одиницю переданого тепла та інші техніко-економічні показники.

Обираємо повітряний холодильник, оскільки цей холодильник має ряд переваг в порівнянні з кожухотрубним (горизонтальний) та «труба в трубі»: поверхня теплообміну повітряного холодильника є найменшою, але ми економимо на витратах на теплоносій, що суттєво зменшує витрати при експлуатації.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Технічні характеристики основних апаратів установки

Технічна характеристика реактора

Технічна характеристика реактора наведена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика реактора

Технічна характеристика		
Найменування параметрів		Значення параметрів
Форма апарата		циліндричний
Температура на вході в реактор, К		803
Продуктивність, т/рік		300000
Габаритні розміри апарата	Діаметр, мм	2400
	Висота, мм	10750
Призначення апарату		Каталітичний риформінг
Розрахунковий термін праці реактора		15 років
Число циклів навантаження апарата за весь час використання		≤ 2000
Розрахунковий тиск, МПа		3,42
Кількість каталізатора, кг		19220
Швидкість корозії, мм/рік		0,08

Технічна характеристика холодильника

Технічна характеристика холодильника наведена у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика холодильника

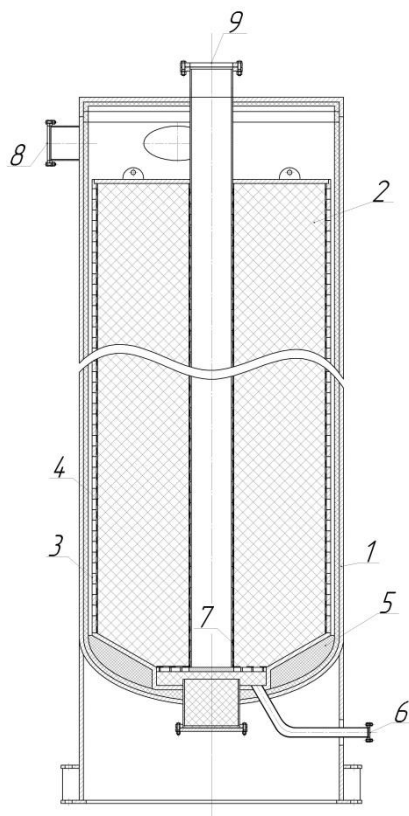
Найменування параметрів	Значення параметрів
Форма апарата	Циліндричний
Призначення апарату	охолодження бензину
Продуктивність, кг/с	15
Температура бензину на вході, К	724
Температура бензину на виході, К	463
Розрахунковий термін праці холодильника	15 років
Число циклів навантаження апарата за весь час використання	≤ 2000
Розрахунковий тиск, МПа	1,6
Швидкість корозії, мм/рік	0,08
Найменування робочого середовища	Бензин
Площа, м ²	214

3. Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів

3.1 Конструкції та принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей

3.1.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць реактора

На установках риформінгу використовують реактори з радіальним вводом сировини (рисунок 3.1), за [2]. Апарат представляє собою посудину з внутрішнім перфорованим стаканом 3, куди надходить каталізатор 2. Газосировинна суміш надходить через штуцер для входу сировини 8 в кільцевий зазор між футеровкою 10 і стаканом 3, проходить в радіальному напрямі через шар каталізатора та виводиться через перфоровану трубу 7.



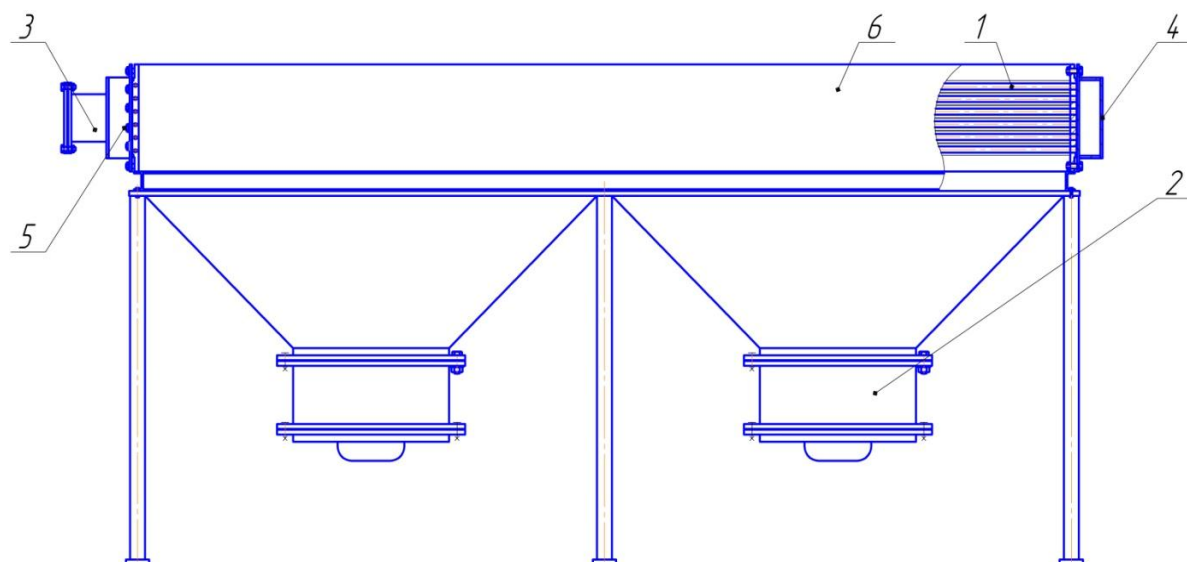
1 – корпус; 2 – каталізатор; 3 – перфорований стакан; 4 – сітка;
5 – фарфорові кульки; 6 – штуцер для ежекції газів; 7 – перфорована труба;
8 – штуцер для входу сировини; 9 – штуцер для виходу продуктів реакції.

Рисунок 3.1 – Реактор з радіальним вводом сировини

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

3.1.2 Опис конструкції, основних складальних одиниць холодильника

Повітряний холодильник (рисунок 3.2) складається з трубчатки – 1, розподільча камера – 4, вхідна та вихідна камери – 5, штуцери – 3, через які заходить та виходить бутан, урушійник – 2, через який продувається вентилятором повітря[3].



1-трубчатка; 2- урушійник; 3- штуцери; 4- розподільча камера; 5- вхідна та вихідна камери.

Рисунок 3.2 – Схема повітряного холодильника

3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкції апаратів з аналогами

Порівняння основних показників реактора з аналогами

За конструкцією запропонований в даному проекті реактор суттєво відрізняється від реактора установки каталітичного риформінгу Л-35-11/300 та установки ЛЧ-35-11/600.

Порівняльна характеристика наведена у таблиці 3.1 за даними[2].

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика реакторів

Характеристики	Реактор, що проектується	Реактора установки Л-35-11/300	Реактора установки ЛЧ-35-11/600
Продуктивність (т/рік)	300000	300000	300000
Тиск, МПа, (бали)	3,42 (3)	4 (1)	3,5 (2)
Температура, °С, (бали)	763 (2)	480-520 (1)	480-530 (2)
Кількість каталізатора у реакторі, кг, (бали)	19220 (3)	1500 (1)	1300-1800 (2)
Каталізатор, (бали)	(АП-56; АП-64) (1)	(АП-56; АП-64) (1)	(АП-64) (1)
Термін праці реактора, р, (бали)	15 (3)	13 (2)	12 (1)
Швидкість корозії, мм/рік	0,08 (1)	0,08 (1)	0,08 (1)
Сума балів	13	7	9

З таблиці бачимо, що обраний реактор, працюючи з меншим тиском, та більшою кількістю каталізатора, але більшою температурою має більше переваг, тому його і більш доцільно використовувати.

Порівняння основних показників холодильника з аналогами

За конструкцією запропонований в даному проекті холодильник та його характеристики порівнюються у таблиці 3.2 за даними [3].

Таблиця 3.2 – Порівняльна характеристика холодильника

Характеристики	Апарат повітряного охолодження, що проектується	Апарат повітряного охолодження блочно-модульного типа	Апарат повітряного охолодження двухкамерний
Продуктивність (кг/с)	15	15	15
Поверхня теплообміну, м ² , (бали)	105 – 775 (3)	440 – 5040(3)	300-2000 (2)
Двигун, кВт, (бали)	3 (3)	15 (3)	8 (2)
Діаметр колеса вентилятора, мм, (бали)	800 (2)	2250 (1)	800 (2)
Швидкість корозії, мм/рік, (бали)	0,08 (1)	0,08 (1)	0,08 (1)
Розрахунковий термін праці холодильника, р., (бали)	15 (3)	10 (1)	12 (2)
Сума балів	12	9	9

Виходячи з порівняльної таблиці можна зробити висновок що більш доцільно використовувати апарат повітряного охолодження АВМ, тому що апарат повітряного охолодження блочно-модульного типа и апарат повітряного

охолодження двухкамерний перевищує наші потреби та в них менша довговічність .

3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів

Вибір матеріалів елементів конструкції реактора

Реактори риформінгу експлуатують при температурі 530 ° С, тиску до 3,0 МПа і впливі газу з вмістом водню , до складу якого входить до 85% Н₂, до 0,005% Н₂S і не менше 2 мг/м³ хлороводню. Стійкість до водневої корозії досягається застосуванням сталі марки 09Г2С[4]. Для захисту від корозійного впливу суміші водню і сірководню здійснюється футеровка корпусу торкрет-бетонним покриттям, що знижує температуру стінок реактора. Торкретбетон від пошкоджень додатково захищають кожухом з корозійно – стійкої в цих умовах стали типу 08Х18Н10Т товщиною 6-10 мм. Внутрішні елементи реакторів виготовляють із сталі 09Г2С, а патрубки штуцерів виконуються з наплавленням із сталі цього ж типу.

Вибір матеріалів елементів конструкції холодильника

Розглядуваний апарат повітряного охолодження працює під тиском на відкритому майданчику, при середній температурі найхолоднішої п'ятиденки - 35°С. Отже до матеріалу апарата, крім вимог до міцності, пластичності та зварюваності, висувається також вимога до малої чутливості до крихкого руйнування. Згідно до рекомендацій для корпусу апарата повітряного охолодження приймаємо Сталь 3 [4], розподільчої камери, трубних решіток та фланців приймаємо сталь 20 [4]. З цієї ж сталі доцільно виготовляти і технологічні штуцери. Для трубного пучка приймаємо, також сталь 20 [4].

Для технологічних штуцерів апарата повітряного охолодження доцільно застосовувати стандартні фланці для трубопровідної арматури, які згідно з рекомендаціями слід виготовляти зі Сталі 20 [4]. Для решти деталей даної конструкції, з метою зменшення номенклатури матеріалів, приймаємо Сталь 20[4].

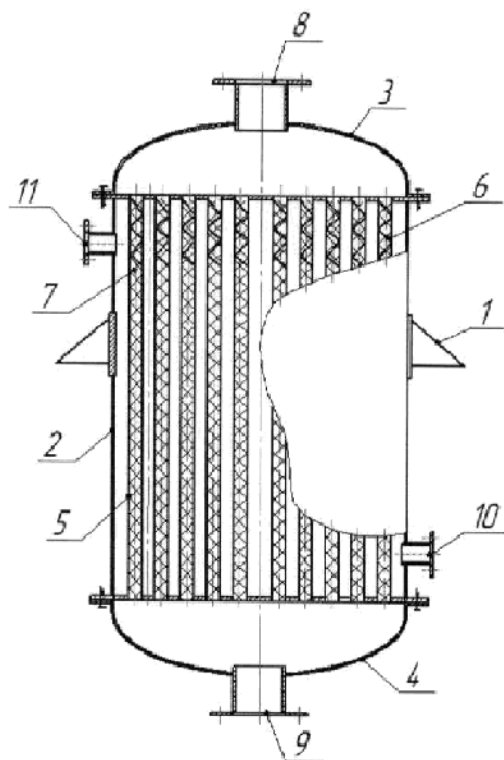
					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Патентне дослідження

Реактор:

Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти конструкції проведений патентний пошук. Звіт про патентний пошук знаходиться в додатку В. В результаті пошуку відібрані для детального розгляду ряд конструкцій, описи яких наведено нижче.

Реактор зображено на рисунку 3.3 [5].



1- опори; 2- корпус; 3- кришки; 4- днища; 5- реакційні труби; 6- спіральні елементи; 7- каталізатор; 8-11 – штуцери.

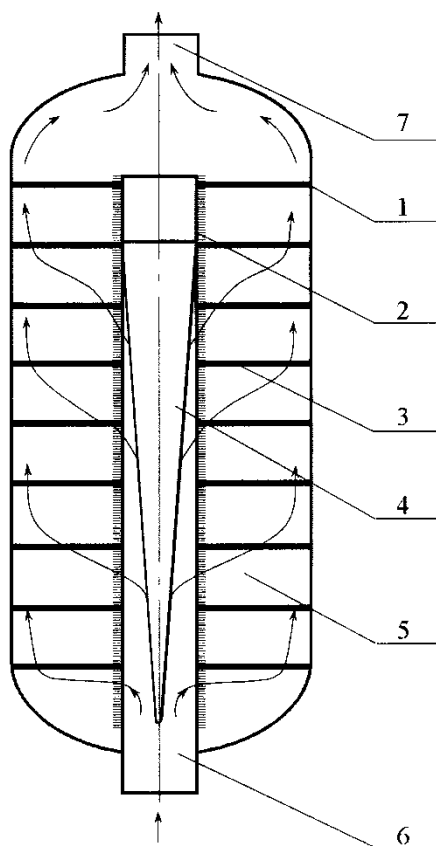
Рисунок 3.3– Реактор

Реактор має такий недолік погане перемішування потоку, яке призводить до зниження охолодження реакційного середовища.

Цей недолік можна усунути спіральними елементами які встановлюються в труби, завдяки чому потік газу турбулізується і процес тепловіддачі стає більш інтенсивним.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Реактор зображено на рисунку 3.4 [5].



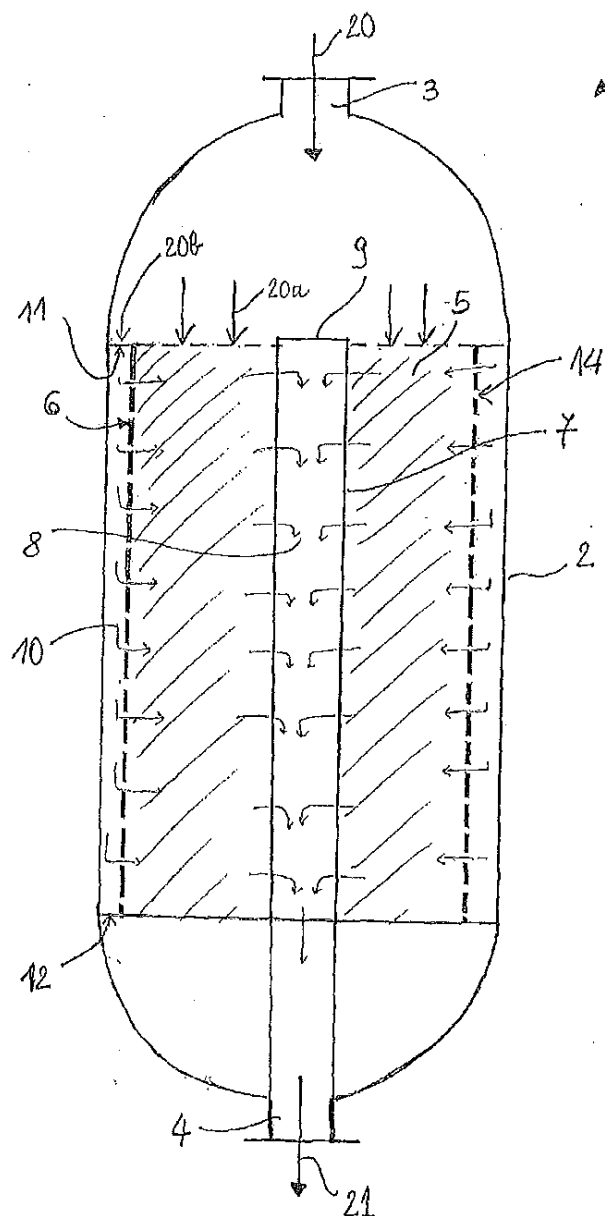
1- корпус; 2- перфорований циліндр; 3- опорна решітка; 4- розподільник; 6- ввідний штуцер; 7- вивідний штуцер.

Рисунок 3.4– Реактор

Недоліком є те, що конструкція не забезпечує рівномірного розподілу потоку реакційної суміші по всьому об'єму каталізатора, що знижує ефективність процесу і погіршує якість кінцевих продуктів.

Цей недолік вирішується встановленням в реактор перфорований циліндр з розташованими навколо нього опорними решітками, всередині якого розміщений обтічник у вигляді конусообразного тіла обертання, причому перфорований циліндр, опорні решітки і вертикальна стінка циліндричного корпусу утворюють камеру для розміщення каталізатора.

Реактор зображено на рисунку 3.5 [7].



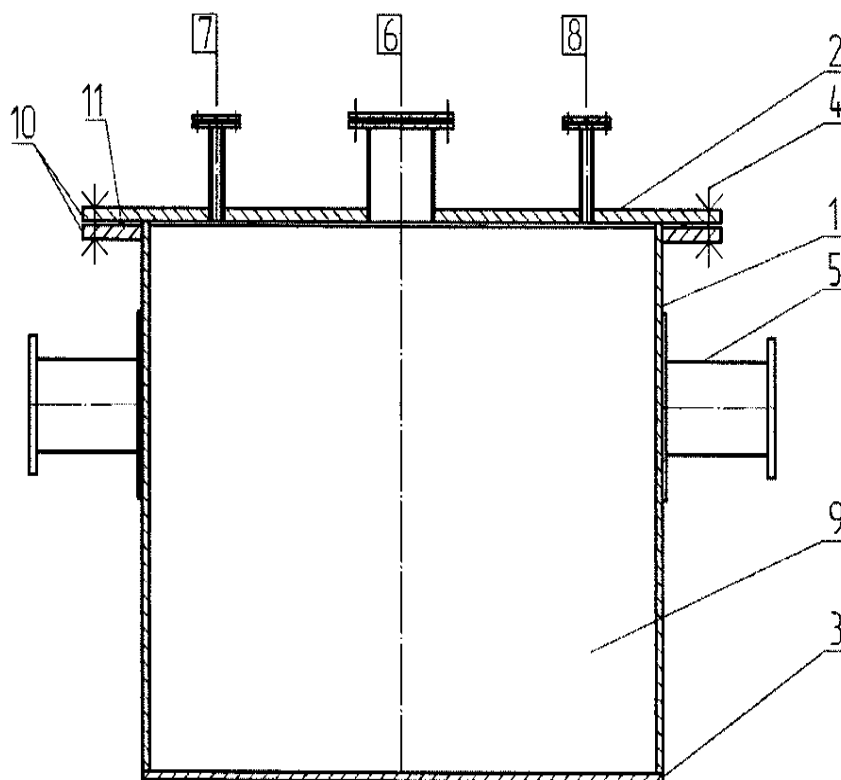
2- корпус; 3- ввідний штуцер; 5 – гребіньж;
10- перфорована труба; 21- вивідний штуцер.

Рисунок 3.5– Реактор

Має недолік високої вартості гребенців, тому що вони є нестандартними компонентами, які спеціально створюються для кожного реактора.

Цей недолік вирішується заміною гребенів на полки які встановлюються під кутом.

Реактор зображено на рисунку 3.6 [8].



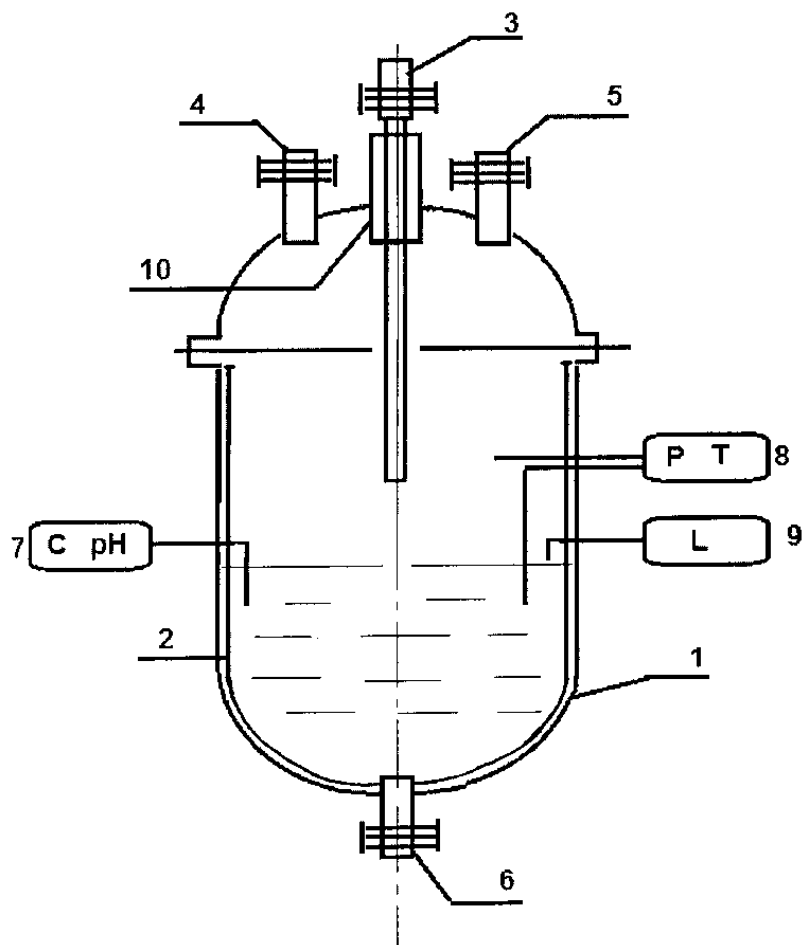
1 - обечайка; 2 - кришка; 3 – днище; 4 - швидкоз'ємні кріплення;
 5 - підйомно-транспортувальні пристрої; 6 - штуцер для завантаження ;
 7,8 - штуцер для продувки; 9 – реакційна зона; 10 - фланцеві з'єднання;
 11 – прокладка.

Рисунок 3.6– Реактор

Недоліком даного реактора є висока металоємність, додаткова система для вилучення готового полімеру з реактора і необхідність додаткового очищення кожної реакційної камери.

Цей недолік вирішується використанням апарату з циліндричною обечайкою, плоским днищем і плоскою кришкою з швидкознімними кріпленнями, оснащений спеціальними штуцером для подачі мономірним-каталітичної суміші.

Реактор зображено на рисунку 3.7 [9].



1 - обичайка; 3 – штуцер для завантаження; 4,5 - штуцер для додавання компонентів; 6 - штуцер для розвантаження.

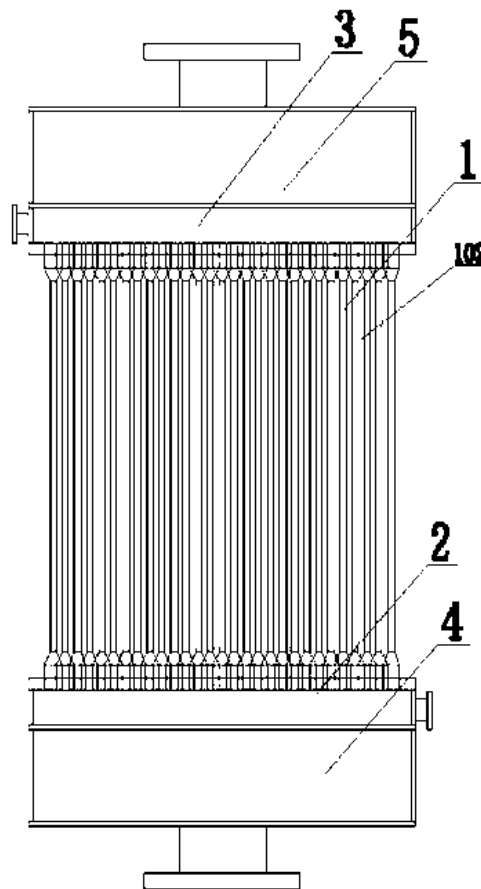
Рисунок 3.7– Реактор

Недоліком відомого реактора є обмежені можливості використання при окисленні органічних сполук .

Недолік вирішується тим, що реактор додатково містить вбудований корозійностійкий вкладиш, реактор додатково має знімну верхню частину, реактор додатково має антикорозійне покриття внутрішніх поверхонь і пристроїв.

Холодильник :

Повітряний холодильник зображено на рисунку 3.7 [10].



1-пучок труб; 2-прокладка; 3-трубна плита; 4,5-кришки.

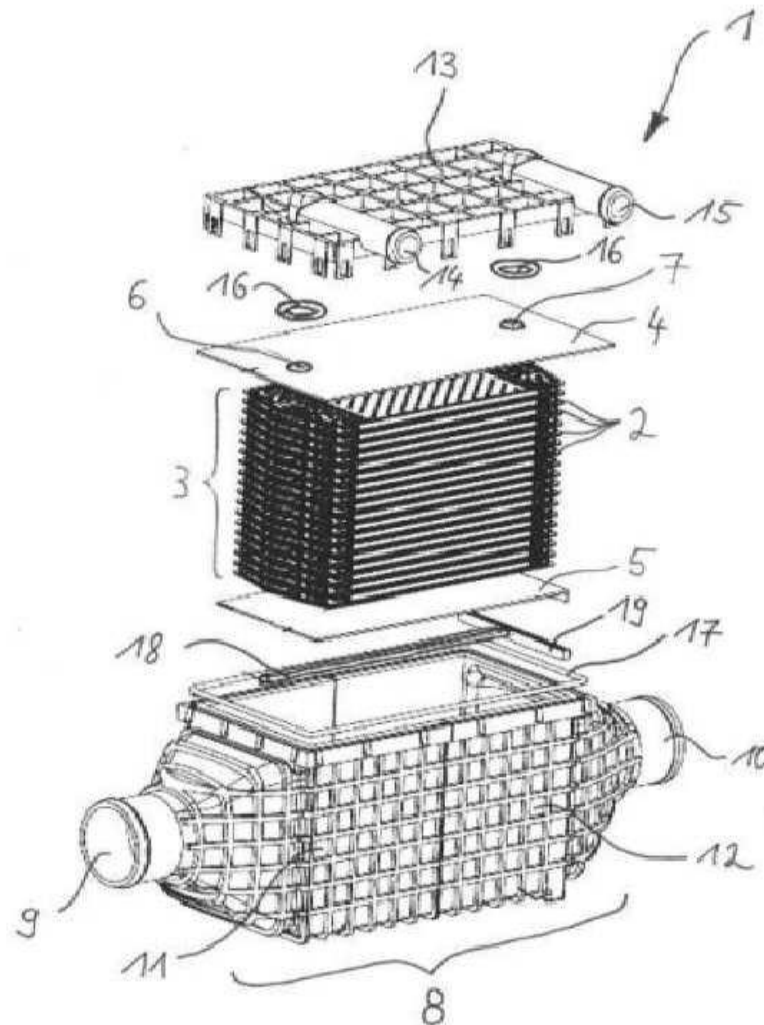
Рисунок 3.7– Повітряний холодильник

Даний винахід відноситься до області обладнання для теплообміну, зокрема, стосується способу запобігання заморожуванню і може ефективно підвищити ефективність теплообміну повітряного холодильника.

Недоліком є важко уникнути місцевого повітря низькою температурою, це призводить до часткового заморожування теплообмінного обладнання та нерівномірного розподілу температури.

Для подолання недоліків використовується метод часткового охолодження, що дозволяє ефективно усунути ризик заморожування труб, поліпшити умови експлуатації установки, покращити охолоджувальний ефект, зменшити енергоспоживання.

Повітряний холодильник зображено на рисунку 3.8 [11].



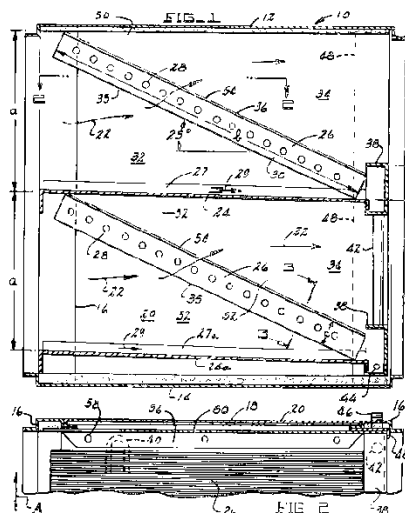
2-охолоджувальна пластина; 3-пластини; 4,5-кінцеві пластини;
6,7-отвори для проходження рідини; 8-корпус; 9-отвір для повітря;
14,15 – впускний/випускний отвір.

Рисунок 3.8– Повітряний холодильник

Даний винахід відноситься обладнання для теплообміну та стосується способу герметизації і може ефективно підвищити ефективність теплообміну повітряного холодильника.

Недоліко є те, що герметезуючий елемент встановлений між кожною пластиною.

Повітряний холодильник зображено на рисунку 3.9 [12].



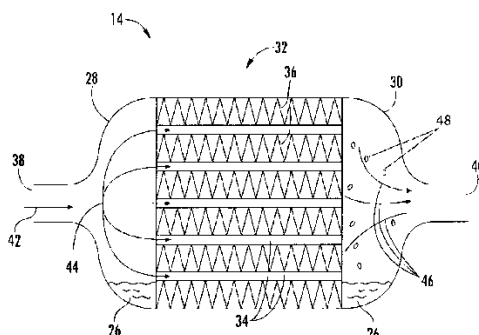
10-корпус; 12-верхня стінка; 14-нижня стінка; 24-перегородка; 26-трубки.

Рисунок 3.9– Повітряний холодильник

Даний винахід відноситься обладнання для теплообміну та стосується способу усунення конденсату і підвищує ефективність теплообміну повітряного холодильника.

Недоліко є те, що трубний пучок розташований так і це призводить до утворення конденсату.

Даний недолік вирішується тим, що трубний пучок встановлюється під кутом до напрямку повітря, і також забезпечується зниження швидкості потоку. Повітряний холодильник зображено на рисунку 3.10 [13].



26-конденсат; 28,30-вхідна/виїдна кришка; 34-трубки; 36-оребрінн.

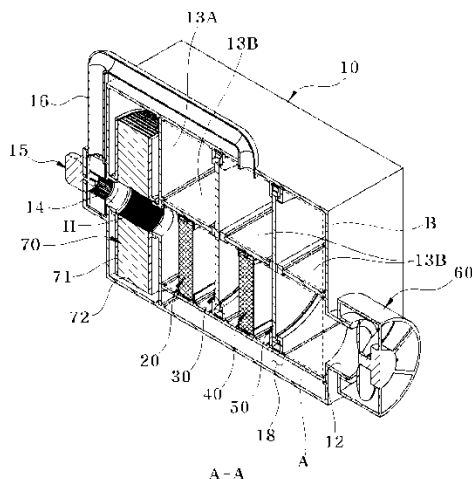
Рисунок 3.10– Повітряний холодильник

Даний винахід відноситься обладнання для теплообміну та стосується способу зниження конденсату і підвищує ефективність теплообміну .

Недоліко є те, що конденсат потрапляє в апарат.

Даний недолік вирішується формою корпусу,що допомагає осадити конденсат в нижній частині .

Повітряний холодильник зображено на рисунку 3.11 [14].



2-охолоджувальна пластина; 3-пластини; 4,5-кінцеві пластини;
6,7-отвори для проходження рідини; 8-корпус; 9-отвір для повітря;
14,15 – впускний/випускний отвір.

Рисунок 3.8– Повітряний холодильник

Даний винахід відноситься обладнання для теплообміну та стосується способу герметизації і може ефективно підвищити ефективність теплообміну повітряного холодильника.

Недоліком є те, що герметезусчий елемент встановлений між кожною пластиною.

4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Згідно закону про охорону праці України на нові машини, механізми, обладнання необхідно розробити нешкідливі і безпечні умови їх експлуатації обслуговуючим персоналом, необхідно оформити сертифікат на безпечну експлуатацію, згідно з встановленими зразками [12].

Відповідно до теми магістерської дисертації «Модернізація реакторного блоку установки каталітичного реформінгу з розробкою реактора, та холодильника». Контроль параметрів технологічного процесу здійснює сам оператор лінії, пульт знаходиться в операторській $S = 50 \text{ м}^2$, $V = 150 \text{ м}^3$.

Шкідливими і небезпечними виробничими факторами при роботі і обслуговуванні лінії являються:

- ураження електричним струмом;
- вплив механізмів, які рухаються і обертаються;
- виробниче освітлення;
- виробничий шум і вібрації;
- повітря робочої зони;
- вибухопожежонебезпека (надзвичайні ситуації);

4.1 Електробезпека

Лінія, що розробляється буде знаходитись в сухому приміщенні з задовільною температурою і вологістю повітря. Підлога приміщення залізобетонна. Згідно ПУЕ воно відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою. На пульті управління машиніста напруга $U = 220/380 \text{ В}$, частота $f = 50 \text{ Гц}$. Тип електромережі - із глухозаземленою нейтралю.

Внаслідок транспортування нафтопродуктів, що володіють здатністю продоціювати і накопичувати електростатичні заряди, усередині трубопроводів можливий підвищений рівень статичної електрики.

Для забезпечення електробезпечності передбачені організаційні і технічні заходи:

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- інструктаж і навчання безпечним методам праці;
- встановлення блокування безпеки та огорожі;
- встановлення плакатів і знаків безпеки (показано на рисунку 5.1);
- недоступність елементів установки, що знаходяться під напругою (кабелі вкладаємо в полівінілхлоридові труби, піддати захисту: недоступність кабелів на висоті $h_{\min} = 2,7$ м, застосування огорожувальних пристроїв);



Рисунок 4.1 – Приклади попереджувальних знаків

- ізоляція струмопровідних частин керуючої частини ($R = 0,5$ МОм);
- розділення мережі за допомогою спеціальних розділяючих трансформаторів;
- рубильники замкнені в спеціальних шафах, різні кольори пускового та робочого обладнання;
- при роботі з електроінструментом ($u \leq 42$ В), застосовуються індивідуальні захисні засоби, такі як діелектричні рукавички і калоші, гумові килимки, ізольовані підставки ($I_{\text{ном.}} = 100$ А. Що до 1,25–1,4 $I_{\text{ном.}}$).

При замиканні на корпус:

$$I_{\text{к.з.}} \geq 3 \cdot I_{\text{ном.}}$$

$$I_{\text{к.з.}} = U_{\phi} / (z_0 + z) = 220 / (0,4 + 0,2) = 367 \text{ А} > 300 \text{ А}$$

В аварійному режимі приміняється захисне заземлення ($R_3 = 2,9$ Ом, що відповідає ГОСТ 12.1.030-89).

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Сила струму, що проходить крізь людину при доторканні до однієї з фаз мережі в аварійному режимі роботи, яка перевищує значення, що дозволяється за ГОСТ 12.1.030-89.

Схема занулення ІТ наведена на рисунку 4.2:

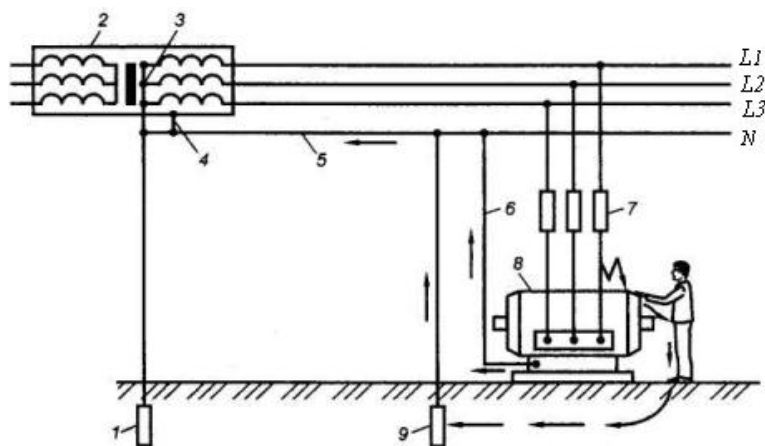


Рисунок 4.2 Схема занулення ІТ

Забезпечення електробезпеки є дуже важливим чинником, при проектуванні преса, тому що дозволяє зменшити ймовірність смертельного випадку чи травматизму серед обслуговуючого персоналу у виробничих умовах.

4.2 Безпека технологічних процесів і устаткування

Найбільш небезпечними процесами в проектованому виробництві є: нагрів сировини в парогенераторі, перекачування насосами пожежонебезпечних речовин.

Проектом передбачене застосування насосів, що є джерелами шуму і вібрації. Існує небезпека одержання травм від частин насосів, що рухаються. У проекті використана пара з високою температурою ($T = 378 \text{ K}$).

1) Основними причинами аварійної ситуації є:

- Порушення технологічного режиму в результаті відмов у системі автоматизованого керування і регулювання технологічним процесом.
- Раптове припинення подачі сировини, пари, електроенергії, що

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

приводить до перебоїв у роботі технологічного устаткування.

- Розгерметизація технологічного устаткування, арматури, ущільнень у фланцевих з'єднаннях трубопроводів.

- Розряди статичної електрики у вибухонебезпечному середовищі апаратів і трубопроводів.

Для забезпечення безаварійної роботи установки передбачений ряд заходів.

Розроблені заходи для забезпечення безпечного проведення процесу:

1. Технологічна схема прийнята з мінімально-можливою кількістю апаратів при забезпеченні необхідної якості товарної продукції.

2. Передбачено продувку апаратів азотом для виключення утворення вибухонебезпечних сумішей при пуску в роботу чи зупинці устаткування.

3. Технологічна система оснащена засобами контролю за технологічними параметрами і сигналізацією при їхньому відхиленні від заданих значень, засобами автоматичного і дистанційного регулювання.

4. Проектом передбачається комплексна автоматизація технологічних процесів з виносом в операторну всіх параметрів, що забезпечують безпечну роботу устаткування

5. Усі трубопроводи й устаткування, що має температуру зовнішніх поверхонь вище 333 К, у зонах обслуговування теплоізолюються.

6. Для захисту апаратури від перевищення тиску проектом передбачені запобіжні клапани, що захищають окремі апарати, чи трубопроводи групи апаратів.

7. Апарати, обслуговування яких зв'язано з перебуванням на висоті, обладнаються промисловими площадками зі східцями, що мають поруч висотою 1м.

8. Забезпечується електроустаткування, що відповідає умовам навколишнього середовища, у тому числі по вибухозахисту. На випадок виникнення аварійної ситуації передбачене відключення електроустаткування з розподіленою системою керування.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. На випадок виникнення аварійної ситуації обслуговуючий персонал забезпечений киснево-ізолюючими приладами типу “СТОСІВ-8” і фільтруючими протигазами марки “А” і “БКФ”.

4.3 Безпека впливу частин, що рухаються і обертаються

Механізмами, що обертаються є: вал насоса, вентилятора. Вони є небезпечними, тому що можуть нанести механічні травми людині, тому в кожній деталі або вузлі закриті захисним кожухом, що забезпечує уникнути механічних травм. Для аварійної зупинки лінії передбачена аварійна кнопка відключення, яка знаходиться в кабіні оператора.

4.4 Виробниче освітлення

Штучне освітлення буває: загальне і комбіноване. Проектом забезпечено евакуаційне, аварійне, робоче і ремонтне освітлення.

Проектом забезпечується штучне освітлення у всіх приміщеннях, та на площадках установки, рекомендація на мінімальну освітленість $E_{\text{нор}} = 200$ лк.

Для освітлення цеху застосовуються лампи ДРЛ250 потужність яких 250 Вт і напругою 220 В, світловий потік яких $\Phi = 12000$ лм, кількістю 20 шт. $E_{\text{фак}} = 300$ лк, що забезпечує вимогам ДБН В 2.5.28 – 2006.

4.5 Шум і вібрація

Приміщення, в якому розміщена лінія - закритого типу, а саме обладнання яке працює спричиняє постійний шум. Основними джерелами шуму при роботі є вали, що обертаються, електродвигуни, вентилятори та інше устаткування в яких шум досягає 90 дБА. Згідно норм ДСН 3.3.6.037-99 шум, при роботі обладнання, не повинен перевищувати 80 дБА.

Заходи по зниженню шуму механічного походження:

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- шумопоглинання – використовують облицювальний матеріал з перфаруванням;
- покриттям та плити;
- звукоізоляція – дверного проїому приміщення, не нижче 30дБА, стіни і покриття цього приміщення забезпечені звукоізолюючим облицюванням з коефіцієнтом звукопоглинання не нижче 0,7 і мають звукоізолюючу здатність не нижче 50 дБА.

- необхідно слідкувати за рівнем мастила в підшипникових вузлах, що обертаються. Мікрофон при вимірюванні рівня звуку встановлено на висоті 1,5-2,0 м від полу. Ці заходи дозволили знизити рівень шуму до 75 дБА, що від-повідає вимогам ДСН 3.3.6.037-99.

4.6 Повітря робочої зони

Для нормалізації повітря передбачені технологічні заходи:

- Герметизація обладнання.
- Теплоізоляція обладнання, температура зовнішніх стінок якого перевищує 333 К, з розрахунку температура навколишнього повітря плюс 279 К.

Проектом передбачена вентиляція приміщення де розташовано насоси.

В робочій зоні операторів забезпечується кондиціонування повітря.

В усіх виробничих приміщеннях запроектоване парове опалення в зимову пору року $t_{\text{тепл}} = 70 - 75^{\circ}\text{C}$.

В цеху підтримуються такі показники повітря: температура $t = 20 - 23^{\circ}\text{C}$, вологість $w = 40 - 60\%$, переміщення повітря $v = 0,2$ м/с, за ДСН 3.3.6.042-99.

Технічні засоби, що забезпечують безпеку органів дихання: повітряний апарат МПА-4 який забезпечує номінальний ЧЗД 24хв.

Умови повітря робочої зони забезпечуються завдяки вище перерахованим технічним заходам, що відповідає ДСН 3.3.6.042-99.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.7 Надзвичайні ситуації

1) На проектованій установці в приміщенні використовуються вибухопожежонебезпечні речовини – димові гази, легкозаймисті рідини у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші з температурою самоспалахування від 520 °С. При спалахуванні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні. Таким чином приміщення належить до категорії А, згідно ОНТП24-86. Клас зони - 2.

2) На проектованій установці пожежі і вибухи можливі на наступних ділянках: приміщення насосної та в парках де розташовуються резервуари. Можливі причини загоряння: влучення в повітря робочої зони парів розчинника здатного створювати пожежо-вибухонебезпечні суміші з киснем повітря, розгерметизація фланців трубопроводів, арматури чи апаратів що може призвести до потрапляння мастила в робочу зону, коротке замикання електроустаткування з ушкодженою ізоляцією. На проектованому виробництві можливі наступні джерела загоряння: електричні іскри, розряди статичної електрики, прямий удар блискавки у виробниче приміщення.

3) Забезпечується ступінь вогнестійкості об'єкта II по СНиП 2.01.02.

Для забезпечення вибухопожежної безпеки проектом забезпечена система зв'язку й оповіщення, системи пінного пожежогасіння та порошкового пожежогасіння, система протипожежного водопроводу, та первинні засоби пожежогасіння.

До первинних засобів пожежогасіння належать: вогнегасники, пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири) та пожежний інвентар (бочки з водою, пожежні відра, ящики з піском, совкові лопати, протипожежні покривала) .

Для гасіння пожежі застосовуються вуглекислотні вогнегасники типу ВП-3(3) у кількості 9 штук, що розташовуються в цеху, біля ребойлерів, та повітряних холодильників, які представляють загрозу вибуху.

Перша умова проти вибухового захисту - це недопущання утворення такої кількості вибухової суміші, що може спричинити вибух.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для противибухового захисту передбачена аварійна вентиляція, вентилятор Мс-4 с продуктивністю $L=1500\text{мкуб/год}$ с КПД=0,45 и тиском 60 кг/м^2 , и виконані з кольорових сплавів $H=1,5\text{кВт}$. Аварійні вентиляція вмикається автоматично при досягненні 20% НКМВ у викидах 10% НКМВ.

Пожежний інвентар та вогнегасники мають червоний колір, ящики з піском та бочки з водою відповідні написи білою фарбою. Інструмент для гасіння пожежі фарбується в чорний колір. Бочки з водою встановлюються у виробничому приміщенні. Бочки комплектуються пожежним відром ємність яких не менше 8л. Ящики з піском ємністю $1,0$ та $3,0\text{ м}^3$ та містять рядом совкову лопату. Пожежні покривала, виготовлені з негорючого теплоізоляційного полотна, і мати розмір не менш як $2\times 1\text{м}$ та $2\times 2\text{ м}$.

При пожежі в приміщенні має бути двоє дверей для евакуаційного виходу з розміром $2,5\times 1,3\text{м}$, які розташовані від установок на відстані 90м.

Протипожежний водопровід забезпечує роботу зрошувальних систем та пересувну пожежну техніку.

Для протипожежного захисту передбачені стаціонарні установки пінного пожежогасіння та зрошувальні системи на всю ширину розташування апаратів. Для охолодження при пожежі резервуарів, що знаходяться поруч з місцем пожежі передбачені стаціонарні зрошувальні системи на усю висоту резервуарів і які складаються з двох полукілець, що дає змогу охолоджувати тільки ту частину резервуарів, яка нагрівається. Пожежогасіння в резервуарах здійснюється за допомогою стаціонарної установки пінного підшарового пожежогасіння.

У цеху на відстані 30м один від одного встановлені пожежні гідранти з рукавами по 10м. Відстані до пожежних евакуаційних виходів – 35м, кількість виходів – 2. Ширина прорізу для дверей еваковиходів – 2,5м згідно з СНиП 2.09.02-85, схема наведена на рисунку 4.3.

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

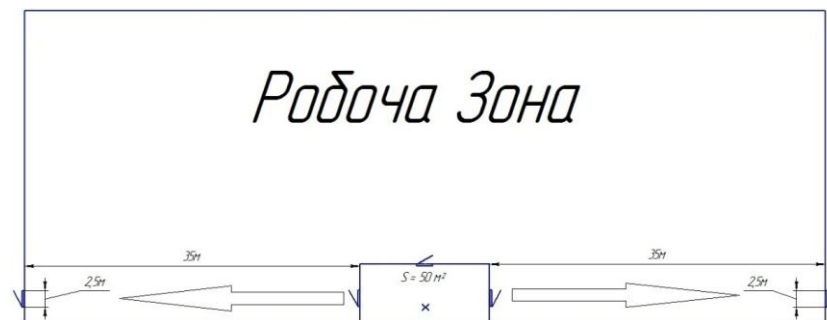


Рисунок 4.3 Схема евакуації з операторської

Для протипожежного захисту компресорної і насосної станцій використовується система порошкового пожежегасіння САМ-6 – модулі порошкового пожежегасіння у вибухозахищеному виконанні, згідно ДСТУ 3105.

Зовнішнє пожежогасіння виробничого будинку здійснюється від пожежних гідрантів існуючої мережі. На заводі мається спеціалізована пожежна команда в розпорядженні якої є необхідна техніка для пожежегасіння.. Для гасіння невеликих вогнищ запалень при вимкненому електроустаткуванні застосовують вуглекислотні вогнегасники ОП-9.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

5.1 Розрахунок ректора каталітичного риформінгу

Розрахунок основних характеристик сировини

Мета розрахунку: визначення та розрахунок основних характеристик сировини, необхідних для параметричного розрахунку реактора. Розрахувати реактор, установки каталітичного риформінгу бензину (склад якого наведений в таблиці 5.1) над нерухомим шаром алюмоплатинового каталізатора. Технологічний процес реакторного блока описаний в літературі [15].

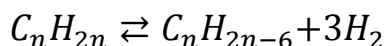
Продуктивність реакційного блоку по сировині 300000 т/рік.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані сировини

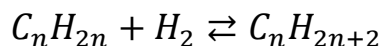
Відносна густина ρ_{277}^{293}	Фракційний склад					Вуглеводневий склад, мас. %		
	п. к.	10%	50%	90%	к. к.	ароматичні	нафтові	парафінові
0,7288	329	348	385	428	453	12	38	50

На платиновому каталізаторі при риформінгу протікають наступні реакції [15]:

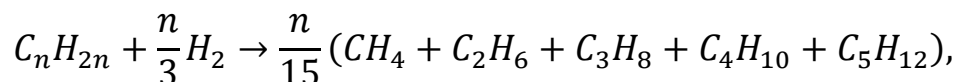
перетворення нафтових вуглеводнів в ароматичні:



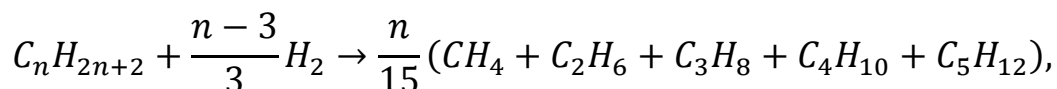
перетворення нафтових вуглеводнів в парафінові:



гідрокрекінг нафтових вуглеводнів:



гідрокрекінг парафінових вуглеводнів:



де n - вуглецеве число.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для вказаних реакцій можна записати диференційні рівняння, котрі описують зменшення кількості вуглеводнів в результаті хімічних перетворень:

$$-\frac{dN_H}{dv_R} = k_1 p_H - \frac{k_1}{k_{p1}} p_A p_{H_2}^3,$$

$$-\frac{dN_{\Pi}}{dv_R} = k_2 p_{\Pi} p_{H_2} - \frac{k_1}{k_{p2}} p_{\Pi},$$

$$-\frac{dN_H}{dv_R} = k_3 \frac{p_H}{\pi},$$

$$-\frac{dN_{\Pi}}{dv_R} = k_4 \frac{p_H}{\pi},$$

де N_H, N_{Π} – доля нафтових і парафінових вуглеводнів при постачанні, підвернених хімічному перетворенню, кмоль/кмоль; v_R – величина, обернена об'ємній швидкості постачання, кг каталізатора/(кмоль/год.) сировини; k_1 – константа швидкості реакції за [15], кмоль/(год·Па·кг каталізатора); $p_H, p_A, p_{\Pi}, p_{H_2}$ – парціальні тиски нафтових ароматичних, парафінових вуглеводнів та водню, Па; k_{p1} – константа хімічної рівноваги, Па³; k_2 – константа швидкості реакції за [15], кмоль/(год·Па·кг каталізатора); k_{p2} – константа хімічної рівноваги, Па⁻¹; k_3, k_4 – константи швидкості реакції за [15], кмоль/(год·Па·кг каталізатора);

Основні реакції риформінгу супроводжуються значним підвищенням об'єму, із – за цього процес протікає під підвищеним тиском в інтервалі $(2 \div 4) \cdot 10^6$ Па [15].

Приймаємо тиск на початку процесу (в першому реакторі блока) $\pi_{\Pi} = 3,43 \cdot 10^6$ Па (35 ат).

Риформінг бензинових фракцій проводять в інтервалі температур 740 – 810 К. По ступеню переробки каталізатора температуру підвищують до 800 – 810 К. Прийmemo в розрахунку температуру подачі сировини і циркуляційного газу в перший реактор $T_{BX1} = 803$ К.

В промислових реакторах об'ємна швидкість подачі сировини дорівнює 1 – 3 год.⁻¹. В розрахунку використовуємо числове значення об'ємної швидкості

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подачі сировини $v_0 = 1,5 \text{ год.}^{-1}$. Циркуляцію газу з вмістом водню підтримують в інтервалі $900 - 1850 \text{ м}^3$. Приймаємо кратність циркуляції газу по даним виробництва рівною $n_r = 1500 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Вміст водню в газі доходить до $85 - 93$ об'ємн. %, за [15]. Склад циркулюючого газу наведений в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Склад циркулюючого газу

Компоненти	H_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}
Склад, об'ємн. %	86	4	5	3	1	1

В диференційних рівняннях, котрі описують зменшення кількості вуглеводнів в результаті хімічних перетворень, наведених вище, зменшення кількості вуглеводнів при подачі в результаті хімічних перетворень, виражено в масових долях. Для переведення скористаємося формулою:

$$M_C y_i = M_i y'_i,$$

де M_C – середня молекулярна маса сировини; M_i – середня молекулярна маса i -того компонента сировини; y_i – склад i -того компонента в подачі в масових долях; y'_i – також в мольних долях.

Середню молекулярну масу сировини розраховуємо по формулі:

$$M_C = 0,4T_{50} - 45,$$

де T_{50} – температура википання 50% бензину, К.

При температурі $T_{50} = 385 \text{ К}$ (таблиця 5.1) середня молекулярна маса сировини дорівнює:

$$M_C = 0,4 \cdot 385 - 45 = 109 \text{ Па.}$$

Середні молекулярні маси ароматичних, нафтових і парафінових вуглеводнів подачі можливо розрахувати, виходячи з умови, що число атомів n вуглецю в них буде однаковим.

Формули розрахунку занесені до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Формули розрахунку середніх молекулярних мас

Вуглеводні	Форма вуглеводу	Формула для розрахунку молекулярної маси
Ароматичні	$C_n H_{2n-6}$	$M_a = 12n + 1(2n - 6) = 14n - 6$
Нафтові	$C_n H_{2n}$	$M_n = 12n + 1 \cdot 2n = 14n$
Парафінові	$C_n H_{2n+2}$	$M_{\Pi} = 12n + 1(2n + 2) = 14n + 2$

Для розрахунку вуглеводневого числа n використаємо формулу:

$$M_c = \frac{1}{\frac{y_a}{M_a} + \frac{y_n}{M_n} + \frac{y_p}{M_p}},$$

де y_a, y_n, y_p – вміст ароматичних, нафтових, парафінових вуглеводнів, мас. долі;
 M_a, M_n, M_p – середні молекулярні маси вуглеводнів (таблиця 5.3).

Формулу для розрахунку M_c запишемо:

$$M_c = \frac{1}{\frac{y_a}{14n-6} + \frac{y_n}{14n} + \frac{y_p}{14n+2}}$$

Після перетворення отримаємо кубічне рівняння:

$$n^3 - \frac{1}{14}(M_c + 4)n^2 + \frac{1}{98}\{6 + (y_a - 2y_n - 3y_p)M_c\}n + \frac{3}{686}y_n M_c = 0.$$

Графічний розв'язок цього рівняння дає величину $n = 7,7$.

Якщо склад сировини заданий в мольних долях, то для розрахунку вуглеводневого числа можливо використати формулу :

$$n = \frac{1}{14}(M_c - 2y'_n + 6y'_a),$$

в котрій y'_n та y'_a – вміст парафінових і ароматичних вуглеводнів в сировині, мол. дол.

Числові значення молекулярних мас вуглеводнів:

$$M_a = 14n - 6 = 14 \cdot 7,7 - 6 = 101,8;$$

$$M_n = 14n = 14 \cdot 7,7 - 6 = 107,8;$$

$$M_p = 14n + 2 = 14 \cdot 7,7 + 2 = 109,8.$$

Перерахунок складу сировини в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Склад сировини

Компоненти	Молекулярна маса M_i	Склад в сировині	
		y_i , масові долі	$y'_i = y_i \frac{M_c}{M_i}$, мол.долі
$C_n H_{2n-6}$	101,8	0,12	0,127
$C_n H_{2n}$	107,8	0,38	0,382
$C_n H_{2n+2}$	109,8	0,50	0,491
Сума	—	1,00	1,000

Парціальний тиск компонентів в сировині розраховуємо:

$$p_i = \pi y'_i,$$

де π – загальний тиск в апараті, Па; y'_i – вміст i -го компонента в суміші газів, мол. долі.

Кількість сировини (в кмоль) дорівнює:

$$n_{ct} = \frac{G_c}{M_c} = \frac{35000}{108,8} = 322 \frac{\text{кмоль}}{\text{год}},$$

де $G_c = 35000$ кг/год – кількість сировини.

Розрахункові дані по кількості і складу сировини у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахункові дані по кількості і складу сировини

Компоненти	Мольна доля	Кількість $n_{c1i} = n_c y'_{c1i}$, кмоль/год.
$C_n H_{2n-6}$	0,127	40,89
$C_n H_{2n}$	0,382	123,008
$C_n H_{2n+2}$	0,491	158,102
Сума	1,000	322

Кількість газу з вмістом водню:

$$G_r = \frac{G_c}{p_c} n_r,$$

де n_r – кратність циркулюючого газу, м³/м³; p_c – густина сировини в рідкому стані, кг/м³.

Густина сировини дорівнює:

$$\rho_c = \rho_{277}^{293} \cdot 1000 = 0,7288 \cdot 1000 = 728,8 \text{ кг/м}^3,$$

Підставивши в формулу числові значення величин, знайдемо:

$$G_r = \frac{35000}{728,8} \cdot 1500 = 72040 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Кількість циркулюючого газу в кмолях дорівнює:

$$n'_r = \frac{G_r}{22,4} = \frac{72040}{22,4} = 3216 \text{ кмоль/год}.$$

Значення визначеного складу циркулюючого газу наведені в таблиці 5.6.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Таблиця 5.6 – Склад циркулюючого газу

Компоненти	Молекулярна маса M_i	Склад $y'_{\Gamma i}$ (табл. 4.2) мол. долі	$M_i y'_{\Gamma i}$	Кількість $n_{\Gamma i} =$ $n'_{\Gamma i} y'_{\Gamma i}$ кмоль/год.
H_2	2	0,86	1,72	2765,76
CH_4	16	0,04	0,64	128,64
C_2H_6	30	0,05	1,50	160,8
C_3H_8	44	0,03	1,32	96,48
C_4H_{10}	58	0,01	0,58	32,16
C_5H_{12}	72	0,01	0,72	32,16
Сума	—	1,00	$M_{\Gamma} = 6,48$ $\approx 6,5$	3216

Загальна кількість парафінових вуглеводнів в циркулюючому газі з таблиці 5.6:

$$n_{\Gamma \Sigma i} - n_{\Gamma H_2} = 3216 - 2765,76 = 450,24 \text{ кмоль/год.}$$

Дані розрахунку по визначенню складу суміші сировини водню і парціальних тисків її компонентів наведені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Складу суміші сировини водню і парціальних тисків

Компоненти	Кількість n_{3i} кмоль/год.	Склад $y'_{3i} = \frac{n_{3i}}{\Sigma n_{3i}}$ мол. долі	Парціальний тиск $p_i =$ $\pi_1 y'_{3i} = 3,43 \cdot 10^6 y'_{3i}$ Па
$C_n H_{2n-6}$	40,89	0,0114	$39,1 \cdot 10^3$
$C_n H_{2n}$	123,008	0,0347	$119 \cdot 10^3$
$C_n H_{2n+2}$	158,102	0,0446	$153 \cdot 10^3$
H_2	276,76	0,7820	$2682 \cdot 10^3$
$C_n H_{2n+2}^*$	450,24	0,1273	$436,9 \cdot 10^3$
Сума	3538	1,0000	$3430 \cdot 10^3$

Кількість каталізатора, необхідна для проведення реакції:

$$v_k = \frac{G_C}{\rho_c v_0} = \frac{35000}{728,8 \cdot 1,5} = 32,032 \text{ м}^3$$

Насипна маса алюмоплатинового каталізатора, $\rho_k = 600 \text{ кг/м}^3$ [2].

Знайдемо кількість каталізатора:

$$G_k = v_k \rho_k = 32,032 \cdot 600 = 19220 \text{ кг}$$

Риформінг бензинових фракцій проводять в блоці з трьох послідовно з'єднаних реакторів. Каталізатор між реакторами розподіляють між трьома реакторами у вказаному відношенні 1:2:4 (див. таблицю 5.8).

Таблиця 5.8 – Розподіл каталізатора між реакторами

Номер реактора	Кількість каталізатора	
	$v_{ki}, \text{м}^3$	$G_{ki}, \text{кг}$
1	4,576	2746
2	9,152	5492
3	18,304	10980
Сума	32,032	19220

Розрахунок розмірів реактора

Розрахункова схема реакторного апарату зображена на рисунку 5.1.

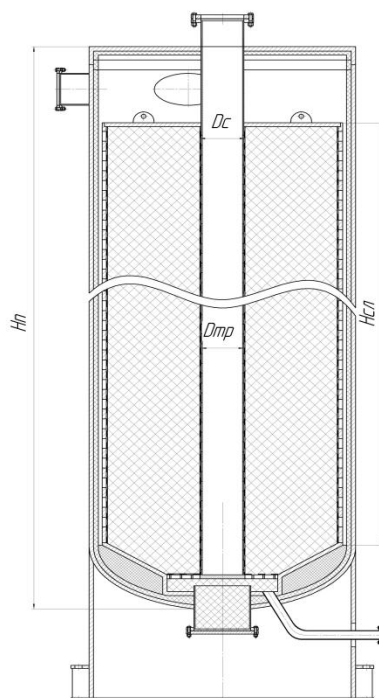


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема реакторного блоку

Вихідні дані:

температура подачі сировини $T_{\text{вх1}}, \text{K}$ 803
константа швидкості реакції ароматизації k_1 ,
кмоль/(год · Па · кг каталізатора) $31,5 \cdot 10^9$

Розрахунок матеріального балансу третього реактора ведеться за [15].

Константа хімічної рівноваги реакції ароматизації за температури $T_{\text{вх1}} = 803 \text{ K}$, за рівнянням розрахунку константи рівноваги за [15]:

$$k_{p1} = 9.81^3 \cdot 10^{12} e^{46,15 - \frac{25600}{T_{\text{вх1}}}},$$
$$k_{p1} = 9.81^3 \cdot 10^{12} e^{46,15 - \frac{25600}{803}} = 14,96 \cdot 10^{20} \text{Па}^3.$$

Зменшення кількості нафтових вуглеводнів в результаті реакції ароматизації. Підставимо, знайденні значення, до диференційного рівняння, котре описує зменшення кількості вуглеводнів в результаті хімічного перетворення, наведеного вище:

$$-\frac{dN_H}{dv_R} = 314,5 \cdot 10^{-9} \cdot 119 \cdot 10^3 - \frac{314,5 \cdot 10^{-9}}{14,96 \cdot 10^{20}} \cdot 39,1 \cdot 10^3 \cdot 2682 \cdot 10^3 =$$
$$= 0,0374 \text{ кмоль/ (год · кг каталізатора)}.$$

Після розділення змінних маємо:

$$-N_{\text{HI}} = 0.0374 v_{R1}.$$

Знак мінус в лівій частині рівняння вказує на зменшення кількості нафтових вуглеводнів в результаті реакції їх ароматизації. Знак плюс в правій – на перевагу прямої реакції.

Величина v_{R1} для першого реактора:

$$v_{R1} = \frac{G_{\text{к1}}}{n_{\text{с1}}} = \frac{2746}{322} = 8,53 \text{ кг каталізатора/ (кмоль/год) сировини},$$

де $n_{\text{с1}} = n_{\text{с}}$ – кількість сировини, постачаєме в реактор, (кмоль/год).

Кількість нафтових вуглеводнів, підвернених ароматизації, дорівнює:

$$-N_{\text{HI}} = 0,0374 \cdot 8,53 = 0,3108.$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо кількість нафтових вуглеводнів, котре залишилося після реакції ароматизації:

$$n_{\text{НИ}} = (y'_{\text{CH1}} - N_{\text{НИ}})n_{\text{C1}} = (0,3820 - 0,3108)322 = 98 \text{ кмоль/год},$$

де y'_{CH1} – мольна доля нафтових вуглеводнів в сировині(таблиця 5.5).

Кількість нафтових вуглеводнів, котрі перетворились в ароматичні вуглеводні дорівнює:

$$n_{\text{на1}} = n_{\text{CH1}} - n_{\text{НИ}} = 526 - 98 = 428 \text{ кмоль/год},$$

де n_{CH1} –кількість нафтових вуглеводнів в сировині (таблиця 5.5).

Константа швидкості реакції перетворення нафтових вуглеводнів в парафінові, за $k_2 = 2,398 \cdot 10^{-15} \text{ кмоль}/(\text{год} \cdot \text{кг каталізатора})$.

Константа хімічної рівноваги реакції перетворення нафтових вуглеводнів в парафінові, $k_{p2} = 98,1^{-1} \cdot 10^{-3e^{\frac{4450}{803}-7,12}} = 0,00209 \cdot 10^{-3} \text{ Па}^{-1}$

Величина $k_{p2} < 1$ вказує на перевагу оберненої реакції – перетворення парафінових вуглеводнів в нафтові.

Збільшення кількості нафтових вуглеводнів в результаті реакції перетворення парафінових вуглеводнів в нафтові. Підставимо, знайденні значення, до диференційного рівняння, котре описує зменшення кількості вуглеводнів в результаті хімічного перетворення, наведеного вище:

$$\begin{aligned} -\frac{dN_{H12}}{dv_{R1}} &= 2,398 \cdot 10^{-15} \cdot (119 \cdot 2682) \cdot 10^3 - \frac{2,398 \cdot 10^{-15}}{0,00209 \cdot 10^{-3}} 153 \cdot 10^3 = \\ &= 0,5894 \cdot 10^3 \text{ кмоль}/(\text{год} \cdot \text{кг каталізатора}). \end{aligned}$$

Розділяючи змінні та інтегруючи, отримуємо долю парафінових вуглеводнів, що підвергаються перетворенню в результаті другої реакції:

$$N_{H12} = 0,5894 \cdot 10^{-3} \cdot 8,53 = 0,0050.$$

Кількість нафтових вуглеводнів після проведення першої і другої реакції:

$$\begin{aligned} n_{H12} &= (y'_{\text{CH1}} - N_{\text{НИ}} + N_{H12})n_{\text{C1}} = (0,3820 - 0,3108 + 0,0050) \cdot 1377 = \\ &= 105 \text{ кмоль/год}. \end{aligned}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Кількість парафінових вуглеводнів, перетворених в нафтові:

$$n_{\text{нп1}} = n_{\text{н12}} - n_{\text{н11}} = 105 - 23 = 82 \text{ кмоль/год.}$$

Константа швидкості реакції гідрокрекінгу нафтових вуглеводнів, за $k_3 = 0,1 \text{ кмоль}/(\text{год} \cdot \text{кг каталізатора})$.

Зменшення кількості нафтових вуглеводнів в результаті реакції гідрокрекінгу. Підставимо, знайденні значення, до диференційного рівняння, котре описує зменшення кількості вуглеводнів в результаті хімічного перетворення, наведеного вище, та визначимо відносне зменшення кількості нафтових вуглеводнів в реакторі в результаті третьої реакції:

$$-\frac{dN_{\text{H13}}}{dv_{\text{R1}}} = 0,1 \frac{119 \cdot 10^3}{3,43 \cdot 10^6} = 0,00347 \text{ кмоль}/(\text{год} \cdot \text{кг каталізатора}).$$

Розділяючи змінні та інтегруючи, отримуємо долю нафтових вуглеводнів, що підвергаються гідрокрекінгу:

$$-N_{\text{H13}} = 0,00347 \cdot v_{\text{R1}} = 0,00347 \cdot 8,53 = 0,0296.$$

Кількість нафтових вуглеводнів, котрі залишились і після проведення перших трьох реакцій:

$$\begin{aligned} n_{\text{H13}} &= (y'_{\text{сн1}} - N_{\text{HI}} + N_{\text{H12}} - N_{\text{H13}})n_{\text{с1}} = \\ &= (0,3820 - 0,3108 + 0,0050 - 0,0296) \cdot 1377 = 64,1 \text{ кмоль/год.} \end{aligned}$$

Кількість нафтових вуглеводнів, котрі підвернені гідрокрекінгу:

$$n_{\text{нг1}} = n_{\text{H12}} - n_{\text{H13}} = 105 - 64,1 = 40,9 \text{ кмоль/год.}$$

Зменшення кількості парафінових вуглеводнів в результаті реакції гідрокрекінгу. Підставимо, знайденні значення, до диференційного рівняння, котре описує зменшення кількості вуглеводнів в результаті хімічного перетворення, наведеного вище, та визначимо відносне зменшення кількості парафінових вуглеводнів в реакторі в результаті четвертої реакції:

$$-\frac{dN_{\text{П1}}}{dv_{\text{R1}}} = 0,1 \frac{153 \cdot 10^3}{3,43 \cdot 10^6} = 0,00446 \text{ кмоль}/(\text{год} \cdot \text{кг каталізатора})$$

При цьому варто мати на увазі, що константи швидкостей реакції

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

гідрокрекінгу нафтових і парафінових вуглеводнів рівні:

$$k_3 = k_4 = 0,1 \text{ кмоль/}(\text{год} \cdot \text{кг каталізатора})$$

Доля парафінових вуглеводнів, що підвергаються гідрокрекінгу:

$$-N_{H1} = 0,00446 \cdot \nu_{R1} = 0,00446 \cdot 8,53 = 0,0381.$$

Кількість парафінових вуглеводнів живлення, котрі залишилися після реакції гідрокрекінгу:

$$n_{H13} = (y'_{сп1} - N_{п1})n_{с1} = (0,4910 - 0,0381) \cdot 322 = 145,8 \text{ кмоль/год},$$

де $y'_{сп1}$ – мольна доля парафінових вуглеводнів в сировині реактора, таблиця 5.6.

Кількість парафінових вуглеводнів, котрі підверглися гідрокрекінгу і перетворилися в газ:

$$n_{пг1} = n_{п1} - n_{H14} = 158,102 - 145,8 = 12,3 \text{ кмоль/год}.$$

Матеріальний баланс реакції в реакторі. На основі стехіометричних рівнянь та розрахованої кількості прореагованої сировини в таблиці 5.9 зроблено розрахунок матеріального балансу реакції.

Таблиця 5.9 – Розрахунок матеріального балансу реакції

Кількість компонентів, залучених до реакції, кмоль/год	Кількість продуктів реакції, кмоль/год
$428 C_n H_{2n} A$	$428 C_n H_{2n-6} + 428 \cdot 3 H_2$
$7 C_n H_{2n+2}$	$7 C_n H_{2n} + 37$
$40,9 C_n H_{2n} + 40,9 \frac{n}{3} H_2$	$40,9 \frac{n}{15} (CH_4 + C_2 H_6 + C_3 H_8 + C_4 H_{10} + C_5 H_{12})$
$52,4 C_n H_{2n+2} + 52,4 \frac{n-3}{3} H_2$	$52,4 \frac{n}{15} (CH_4 + C_2 H_6 + C_3 H_8 + C_4 H_{10} + C_5 H_{12})$

З таблиці 5.9 випливає, що в результаті гідрокрекінгу отримується вуглеводневий газ, котрий збагачує циркулюючий газ.

Кількість вуглеводневого газу, отриманого в реакторі, при $n = 7,7$ рівне:

$$\begin{aligned} & (40,9 + 52,4) \frac{7,7}{15} (CH_4 + C_2 H_6 + C_4 H_8 + C_5 H_{10}) = \\ & = 47,9 (CH_4 + C_2 H_6 + C_3 H_8 + C_4 H_{10} + C_5 H_{12}). \end{aligned} \quad (5.1)$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Склад газу, на виході з реактора, розрахуємо на основі даних таблиці 5.3, 5.5, 5.6, та 5.8. Цей розрахунок (таблиця 5.10) необхідний для складення матеріального балансу.

Таблиця 5.10 – Розрахунок складу газу на виході з реактора

Компоненти	Прихід n_{ci}, n_{Ti} , кмоль/год	Витрата, кмоль/год, Розрахунок ведеться згідно рівності 5.1
C_nH_{2n-6}	40,89	$40,89 + 100 = 140,89$
C_nH_{2n}	123,008	$123,008 - 100 + 82 - 40,9 = 64,1$
C_nH_{2n+2}	158,102	$158,102 - 82 - 12,3 = 63,8$
Сума	322	298,8
Циркулюючий газ		
H_2	2765,76	$2765,76 + 100 \cdot 3 + 82 - 40,9 \frac{7,7}{3} - 12,3 \frac{7,7 - 3}{3} = 3022,7$
CH_4	128,64	$128,64 + 47,9 = 176,54$
C_2H_6	160,8	$160,8 + 47,9 = 208,7$
C_3H_8	96,48	$96,48 + 47,9 = 144,38$
C_4H_{10}	32,16	$32,16 + 47,9 = 80,06$
C_5H_{12}	32,16	$32,16 + 47,9 = 80,06$
Сума	3216	3632,38
Всього	3538	3901,18

Матеріальний баланс реактора складається для визначення продуктів риформінгу на виході.

Середня молекулярна маса газу з вмістом водню на виході з реактора розраховується в таблиці 5.11.

Середні молекулярні маси вуглеводнів C_nH_{2n-6} , C_nH_{2n} та C_nH_{2n+2} , на виході з реактора, не будуть рівні відповідним числовим значенням величин на вході в реактор.

Розрахуємо нові числові значення середніх молекулярних мас вказаних вуглеводнів.

Таблиця 5.11 – Матеріальний баланс реактора

Компоненти	Молекулярна маса M_i	Кількість n_i , кмоль/год	Склад $y'_{r1i} = \frac{n_i}{\sum n_i}$, мол.долі	$M_i y'_{r1i}$
H_2	2	3022,7	0,8570	1,72
CH_4	16	176,54	0,0396	0,63
C_2H_6	30	208,78	0,0486	1,46
C_3H_8	44	144,38	0,0306	1,35
C_4H_{10}	58	80,06	0,0121	0,70
C_5H_{12}	72	80,06	0,0121	0,87
Сума	—	3632,38	1,0000	6,73 \approx 6,7

Кількість збагаченого циркулюючого газу на виході з таблиці 5.11:

$$\sum n_i \cdot \sum M_i y'_{r1i} = 3632,38 \cdot 6,7 = 24337 \text{ кг/год.}$$

З матеріального балансу реактора випливає, що кількість вуглеводнів, на виході з реактору, дорівнює різниці між кількістю всього газового потоку і кількістю збагаченого газу з вмістом водню за таблицею 5.12:

$$\sum G_i - G_{C_n H_{2n+2} + H_2} = 52505 - 23710 = 28795 \text{ кг/год.}$$

Рівняння матеріального балансу для вуглеводнів, на виході з реактору:

$$28795 = 140,89 C_n H_{2n-6} + 64,1 C_n H_{2n} + 63,8 C_n H_{2n+2}$$

З врахуванням даних таблиці 5.3, це рівняння має вигляд:

$$28795 = 140,89(14n - 6) + 64,1 \cdot 14n + 63,8(14n + 2)$$

Після обчислення знайдемо, що вуглеводневе число дорівнює $n = 7,82$.

Прийняте раніше при розрахунку кількості утвореного газу $n = 7,7$ не призвело до значної похибки в розрахунках.

Числове значення молекулярних мас вуглеводнів, на виході з реактора:

$$M_a = 14n - 6 = 14 \cdot 7,82 - 6 = 103,3;$$

$$M_H = 14n = 14 \cdot 7,82 = 109,3;$$

$$M_H = 14n + 2 = 14 \cdot 7,82 + 2 = 111,3.$$

Таблиця 5.12 – Склад потоку на вході до апарату

Компоненти	Кількість n_i , кмоль/год	Склад $y'_{i1} = \frac{n_i}{\sum n_i}$, мол.долі	Середня молекулярна маса M_i	Кількість $G_i =$ $n_i M_i$, кг/год
Надходження				
$C_n H_{2n-6}$	40,89	0,0114	101,8	4162,6
$C_n H_{2n}$	123	0,03347	107,8	13259,4
$C_n H_{2n+2}$	158	0,0446	109,8	17348,4
H_2	2765,76	0,7820	6,5	20904
$C_n H_{2n+2} *$	450,24	0,1273	6,5	20904
Сума	3538	1,0000	-	55674,4
Витрата				
$C_n H_{2n-6}$	14,89	0,0368	103,3	14554
$C_n H_{2n}$	64,1	0,0033	109,3	7140
$C_n H_{2n+2}$	63,8	0,0376	111,3	7101
H_2	3022,7	0,790	6,7	23710
$C_n H_{2n+2} *$	516,12	0,1323		
Сума	3901,18	1,0000	-	52505

$C_n H_{2n+2} *$ –збагачений газ звмістом водню.

Тепловий баланс реактора в загальному виді:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4.$$

Ліва частина рівняння враховує надходження тепла з сировиною та циркулюючим газом (в кВт).

Права частина рівняння враховує витрату (в кВт): Q_2 –на реакції риформінгу, Q_3 – з продуктами реакції і циркулюючим газом, Q_4 – втрати в навколишнє середовище.

Значення відносної густини вуглеводнів приведені в таблиці 5.13, та взяті з джерела.

Таблиця 5.13 - Значення відносної густини вуглеводнів

Вуглеводні	Відносна густина ρ_{288}^{288}	
	на вході в реактор	на виході з еактора
Ароматичні	0,718	0,722
Нафтові	0,731	0,733
Парафінові	0,733	0,737

Розрахунок ентальпії живильної суміші наведений в таблиці 5.14.

Таблиця 5.14 – Розрахунок ентальпії живильної суміші

Компоненти	Молекулярна маса M_i	Кількість n_i , кмоль/год	Склад $y'_{i1} = \frac{n_i}{\sum n_i}$, мол.долі	$M_i y'_{i1}$	Скла $y_i = \frac{M_i y'_{i1}}{M_{cm}}$ масові долі	Ентальпія, кДж/кг	
						q_{Ti}^r	$q_{Tiy_i}^r$
H_2	2	2765,76	0,7820	1,56	0,0999	7700	769,0
CH_4	16	128,64	0,0363	0,58	0,0371	1618	59,9
C_2H_6	30	160,8	0,0454	1,36	0,0870	1434	124,8
C_3H_8	44	96,48	0,0274	1,21	0,0770	1405	108,2
C_4H_{10}	58	32,16	0,0091	0,53	0,0337	1400	47,2
C_5H_{12}	72	32,16	0,0091	0,66	0,0418	1392	58,2
C_nH_{2n}	107,8	123	0,0347	3,74	0,2387	1704	407,5
C_nH_{2n-6}	101,8	40,89	0,0114	1,16	0,0742	1713	127,0
C_nH_{2n+2}	109,8	158	0,0446	4,88	0,3106	1703	528,8
Сума	-	350,8	1,0000	15,68	1,0000	-	2230,6

Використаємо формулу теплового ефекту з :

$$q_p = -335b,$$

де b – вихід водню в розрахунку на вихідну сировину, мас. %.

З матеріального балансу реактора (таблиця 5.12) виходить, що в результаті риформінгу отримано водень в кількості:

$$G_{H_2} = n_i(\text{надходження}) - n_i(\text{сума}) = 3022,7 - 2765,76 = 256,94 \text{ кмоль/год}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

або

$$G_{H_2} = 256,94 M_H = 256,94 \cdot 2 = 513,88 \text{ кг/год.}$$

Тоді

$$b = \frac{G_{H_2} \cdot 100}{35000} = \frac{513,88 \cdot 100}{35000} = 1,468 \text{ мас. \%},$$

а тепловий ефект реакції:

$$q_p = -335 \cdot 1,468 = -491,86 \text{ кДж/кг.}$$

Тепловий ефект реакції лежить в межах 356 – 838 кДж на 1 кг вихідної сировини

Тепловий баланс реактора з врахуванням прийнятої величини теплових втрат в навколишнє середовище в кількості (наведено в таблиці 5.15):

$$Q_4 = 0,01 Q_1 = 0,01 \cdot 5,34 \cdot 10^6 = 5,34 \cdot 10^6 \text{ кДж/год.}$$

Величина Q_3 дорівнює:

$$Q_3 = 239500 q_{T_{\text{вих.1}}}^r.$$

З теплового балансу реактора маємо (див. таблицю 5.15):

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 - Q_4 = 148,3 \cdot 10^3 - 20,5 \cdot 10^3 - 1,48 \cdot 10^3 = 126,3 \cdot 10^3 \text{ кВт},$$

Тоді

$$q_{T_{\text{вих.1}}}^r = \frac{126,3 \cdot 10^3 \cdot 3600}{239500} = 1900 \text{ кДж/кг.}$$

Склад газу, на виході з реактора, розрахований на основі даних з таблиці 5.12 і представлений в таблиці 5.15.

Таблиця 5.15 – Тепловий баланс реактор раз врахуванням прийнятої величини теплових втрат в навколишнє середовище

Потоки	Температура, К	Кількість, кг/год	Ентальпія, кДж/кг	Кіл. теплоти, кВт
Надходження				
Q_1	$T_{\text{вих.1}} = 803$	239500	2230,6	$148,3 \cdot 10^3$
Сума	-	239500	-	$148,3 \cdot 10^3$
Витрата				
Q_2	-	-	493,2	$20,5 \cdot 10^3$
Q_3	$T_{\text{вих.1}}$	239500	$q_{T_{\text{вих.1}}}^r$	Q_3
Q_4	Приймається		-	$1,48 \cdot 10^3$
Сума	-	239500	-	$148,3 \cdot 10^3$

Визначимо, що ентальпії $q_{T_{\text{вих.1}}}^F$, відповідає температура $T_{\text{вих.1}} = 724 \text{ K}$.

Перепад температур в першому реакторі дорівнює

$$\Delta T_1 = T_{\text{вих.1}} - T_{\text{вих.1}} = 803 - 724 = 79 \text{ K}.$$

Величина перепаду тисків попередньо задається, і дорівнює $[\Delta p_{\text{сл.1}}] = 0,0263 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

Таблиця 5.16 – Склад газу, навиході з реактора

Компоненти	Молекуляр на маса M_i	Кількість n_i , кмоль/год	Склад $y'_{\Gamma 1 i} = \frac{n_i}{\sum n_i}$, мол.долі	$M_i y'_{\Gamma 1 i}$	Склад $y_i = \frac{M_i y'_i}{M_{\text{см}}}$ масові долі
H_2	2	3022,7	0,7893	1,58	0,1079
CH_4	16	176,54	0,0366	0,58	0,0400
C_2H_6	30	208,7	0,0499	1,35	0,0921
C_3H_8	44	144,38	0,0283	1,25	0,0851
C_4H_{10}	58	80,06	0,0113	0,65	0,0447
C_5H_{12}	72	80,06	0,0113	0,81	0,0556
$C_n H_{2n-6}$	103,3	140,89	0,0368	3,80	0,2585
$C_n H_{2n}$	109,3	64,1	0,0039	0,43	0,0304
$C_n H_{2n+2}$	111,3	63,8	0,0376	4,19	0,2857
Сума	-	3901,18	1,0000	14,64	1,0000

За[2] визначимо, що ентальпії $q_{T_{\text{вих.1}}}^F$, відповідає температура $T_{\text{вих.1}} = 724 \text{ K}$.

Перепад температур в першому реакторі дорівнює

$$\Delta T_1 = T_{\text{вих.1}} - T_{\text{вих.1}} = 803 - 724 = 79 \text{ K}.$$

Величина перепаду тисків за[2] попередньо задається, і дорівнює $[\Delta p_{\text{сл.1}}] = 0,0263 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

Для розрахунку $[\Delta p_{\text{сл.1}}]$ використаємо формулу приведену в:

$$\frac{\Delta p_{\text{сл.1}}}{H_1} = \frac{255(1 - \lambda)^{1,35}}{\lambda^{0,29}} \cdot \frac{\omega^2 \rho_{\text{см}}}{d_e} \left(\frac{v_{\text{см}}}{d_e \omega} \right)^{0,35},$$

де $\Delta p_{\text{сл.1}}$ – втрати напору на 1 м висоти слою каталізатора в реакторі, Па/м; λ – порозність слою; ω – швидкість фільтрації, м/с; $\rho_{\text{см}}$ – густина газу кг/м³.

$v_{\text{см}}$ – кінематична в'язкість м²/с; d_e – еквівалентний діаметр частинок, м.

Порозність шару каталізатора при допущенні упорядкованого розположення частинок каталізатора дорівнює:

$$\lambda = \frac{v_{\text{ш}}}{v_{\text{куб}}} = \frac{35,35 \cdot 10^{-9}}{(4,06 \cdot 10^{-3})^3} = 0,524,$$

де $v_{\text{ш}}$ — об'єм сфери, еквівалентний об'єму частинок каталізатора циліндричної форми, м^3 , враховуючи, що циліндричні частинки алюмініоплатинового каталізатора риформінгу мають діаметр 3 мм та висоту 5 мм:

$$v_{\text{ш}} = \frac{\pi d^2}{4} H = \frac{3,14 \cdot 0,003^2}{4} \cdot 0,005 = 35,35 \cdot 10^{-9},$$

та $v_{\text{куб}}$ — об'єм куба, описаного навколо шару, м^3 , еквівалентний стороні куба, описаного навколо шару d_e , м:

$$d_e = \sqrt[3]{\frac{6v_{\text{ш}}}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 35,35 \cdot 10^{-9}}{3,14}} = 4,06 \cdot 10^{-3}.$$

Швидкість радіальної фільтрації газової суміші в найбільш вузькому перетині стінки труби:

$$\omega = \frac{v_{\text{сек}}}{F_c},$$

де $v_{\text{сек}}$ — об'єм газів, що проходить через переріз реактора, $\text{м}^3/\text{с}$; F_c — площа сітки труби, м^2 .

Величину $v_{\text{сек}}$ знайдемо за формулою:

$$v_{\text{сек}} = \frac{22,4GT_{\text{ср.1}} \cdot 0,1 \cdot 10^5 Z}{3600M_{\text{ср}} \cdot 273\pi_{\text{сл.1}}},$$

де G — кількість газової суміші в реакторі (табл. 5.12), $\text{кг}/\text{год}$; $T_{\text{ср.1}}$ — середня температура в реакторі, К ; $Z = 1$ — коефіцієнт стиснення для газу; $M_{\text{ср}}$ — середня молекулярна маса газової суміші (табл. 5.16); $\pi_{\text{сл.1}}$ — середній тиск в реакторі.

Середня температура в реакторі дорівнює:

$$T_{\text{ср.1}} = \frac{T_{\text{вх.1}} + T_{\text{вих.1}}}{2} = \frac{803 + 724}{2} = 763,5 \text{ К}.$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середній тиск в реакторі приймаємо рівним:

$$\pi_{\text{ср.1}} = \frac{\pi_1 + \pi_2 - [\Delta\pi_{\text{сл.1}}]}{2} = \frac{(3,43 + 3,43) \cdot 10^6 - 0,0263 \cdot 10^6}{2} = 3,42 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Тоді

$$v_{\text{сек}} = \frac{22,4 \cdot 52505 \cdot 763,5 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 1}{3600 \cdot 14,6 \cdot 273 \cdot 3,42 \cdot 10^6} = 1,83 \text{ м}^3/\text{с},$$

Площа сітки труби:

$$F_c = \pi D_c H_c.$$

де D_c – діаметр сітки труби, м; H_c – висота сітки, м.

Приймаємо діаметр реактора $D_{p1} = 2,4$ м, діаметр сітки $D_c = 0,5$ м.

Висоту сітки знайдемо за формулою:

$$H_c = H_{\text{сл.1}} - 0,4,$$

де $H_{\text{сл.1}}$ – висота шару каталізатора в реакторі, м.

Висота шару каталізатора в стакані:

$$H_{\text{сл.1}} = \frac{v_{\text{к1}}}{F},$$

де F – площа кільцевого перерізу між стаканами, м².

Знайдемо величину F :

$$F = \frac{\pi [(D_{p1} - 2\delta - 2 \cdot 0,02)^2 - D_c^2]}{4} = \frac{3,14 [(2,4 - 2 \cdot 0,04 - 2 \cdot 0,02)^2 - 0,5^2]}{4} = 3,88 \text{ м}^2,$$

$$\text{тоді: } H_{\text{сл.1}} = \frac{18,3}{3,88} = 5,06 \text{ м; } H_c = 5,06 - 0,4 = 4,66 \text{ м},$$

а площа сітки труби:

$$F_c = 3,14 \cdot 0,5 \cdot 4,66 = 7,31 \text{ м}^2.$$

Підставивши значення величин у формулу для розрахунку швидкості фільтрації, отримаємо:

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega = \frac{1,83}{7,31} = 0,25 \text{ м/с.}$$

Густину газової суміші на виході з реактора:

$$\rho_{\text{см}} = \sum \rho_i y'_i,$$

де ρ_i – густина компонентів газової суміші, кг/м³; y'_i – склад компонентів в газовій суміші (табл. 5.12), мол.долі.

Густина компонентів газової суміші при середній температурі

$T_{\text{ср.1}} = 763 \text{ К}$ в реакторі, де M_i – середні молекулярні маси компонентів (табл. 5.12):

$$\rho_i = \frac{M_i \pi_{\text{ср.1}} 273}{22,4 \cdot 0,1 \cdot 10^6 T_{\text{ср.1}}}$$

Результати розрахунку занесені до таблиці 5.17

Таблиця 5.17 – Густина компонентів газової суміші при середній температурі в реакторі

Компоненти	Склад y'_i , мол. долі	Густина ρ_i , кг/м ³	$\rho_i y'_i$, кг/м ³
$C_n H_{2n-6}$	0,0368	57,70	2,124
$C_n H_{2n}$	0,0033	60,90	0,201
$C_n H_{2n+2}$	0,0376	62,00	2,332
H_2	0,9223	3,73	3,440
$C_n H_{2n+2} *$			
Сума	1,0000	-	8,097

Значення кінематичної в'язкості та мольної долі водню, метану, пропану, бутану, пентану за температури $T_{\text{ср.1}} = 763$, згідно [15] наведені в табл. 5.18.

Згідно табл. 5.18 та формули Мана [15] кінематична в'язкість газової суміші за середньої температури $T_{\text{ср.1}} = 763$ в реакторі:

$$\nu_{\text{см}} = \frac{1}{0,29695 \cdot 10^6} = 3,368 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с},$$

Значення кінетичної в'язкості та мольних долей речовин водню, метану, пропану, бутану, пентану при $T_{\text{ср.1}}$ наведені в таблиці 5.18.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.18 – Значення кінематичної в'язкості та мольної долі

Компоненти	Мольна доля y_i'	Кінематична в'язкість ν за $T_{\text{ср.1}}$, $10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	$\frac{y_i'}{\nu \cdot 10^6}$
H_2	0,7893	522,90	0,00150
CH_4	0,0366	88,83	0,000411
C_2H_6	0,0499	45,32	0,000988
C_3H_8	0,0283	27,53	0,001025
C_4H_{10}	0,0113	19,73	0,000573
C_5H_{12}	0,0113	15,22	0,000743
C_nH_{2n-6}	0,0368	0,277	0,132800
C_nH_{2n}	0,0039	0,263	0,013300
C_nH_{2n+2}	0,0376	0,258	0,145600
Сума	1,0000	-	$0,29695 \cdot 10^6$

Підставивши до формули для розрахунку втрати напору числові значення величин, отримаємо:

$$\frac{\Delta\pi_{\text{сл.1}}}{H_1} = \frac{255(1 - 0,524)^{1,35}}{0,524^{0,29}} \cdot \frac{1,13^2 \cdot 8,097}{4,06 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{3,30810^{-6}}{4,06 \cdot 10^{-3} \cdot 1,13} \right)^{0,35} =$$

$$= 28800 \text{ Па/м.}$$

Товщина слою каталізатора в стакані:

$$H_1 = \frac{D_{p1} - 2\delta - 2 \cdot 0,02 - D_c}{2} = \frac{2,4 - 2 \cdot 0,04 - 2 \cdot 0,02 - 0,5}{2} = 0,89 \text{ м.}$$

Втрата напору в шару каталізатора:

$$\Delta\pi_{\text{сл.1}} = 28800 \cdot 0,89 = 25600 \text{ Па.}$$

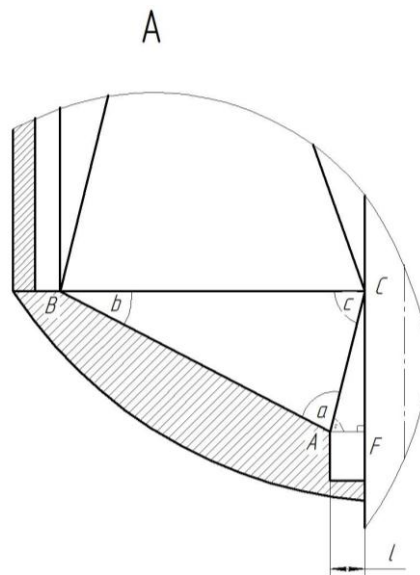
Отримана числова величина $\Delta\pi_{\text{сл.1}} = 25600 \text{ Па}$ не перевищує $[\Delta\pi_{\text{сл.1}}] = 26300 \text{ Па.}$

Повна висота реактора дорівнює:

$$H_{\text{п1}} = H_{\text{сл.1}} + 0,2 + D_{p1} + 0,225 + D_{p1} + 0,425 =$$

$$= 5,06 + 0,2 + 2,4 + 0,225 + 2,4 + 0,425 = 10,71 \text{ м.}$$

Розглянемо докладніше виносний елемент А і теоретично доведемо модернізацію реактора.



Нехай $\triangle ABC$ рівнобедрений

$$AB=BC$$

кути при основах рівні

Тоді кут при вершині

$$\angle \beta = 180 - (\angle \alpha + \angle \gamma) = 180^\circ - (75^\circ + 75^\circ) = 30^\circ$$

Дліну основи AC знайдемо за теоремою косинусів

$$AC = \alpha \sqrt{2 - 2\cos\beta} = 75^\circ * \sqrt{2 * 2\cos 30^\circ} = 0,45\text{м}$$

Тепер розглянемо прямокутний трикутник $\triangle ACF$, нам відома гіпотенуза AC і кут при вершині A.

$$AF = AC * \cos\alpha = 0,45 * \cos 75^\circ = 0,12\text{м}$$

З розрахунків, що ширина каналу дорівнює

$$l = AF = 0,12\text{м}$$

Висновки: було розраховано основні конструктивні розміри апарату. Визначили повну висоту реактора $H_{\text{п1}} = 10,71\text{м.}$, визначили діаметр реактора $D = 2,4\text{м}$, а також площу сітки $F_c = 7,31\text{м}^2$. Запропонований реактор забезпечує рівномірну подачу при зниженні гідравлічного опору, спрощення конструкції та підвищення ефективності масообміну. Знайдено ширину виїмки $l = 0,12\text{м}$, для кращого збору конденсату.

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

5.2 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки під дією внутрішнього надлишкового тиску

Мета: розрахунок товщини циліндричної обичайки під дією внутрішнього тиску з урахуванням додатків на корозію і перевірка її на міцність.

Розрахунок ведемо по методиці [16].

Розрахункова схема обичайки наведена на рисунку 5.2.

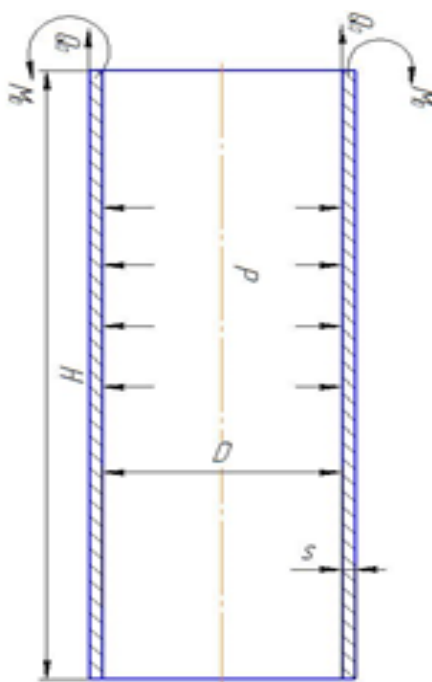


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Вихідні дані для розрахунку:

розрахунковий тиск p , МПа	3,42;
діаметр апарата D , м	2,4;
строк використання τ , рік	151;
швидкість корозії P , м/рік	$0,08 \cdot 10^{-3}$;
матеріал	09Г2С;
допустиме напруження матеріалу $[\sigma]$, МПа	134.

Методика проведення даного розрахунку передбачає підрахунок товщини обичайки лише від дії внутрішнього тиску. Розрахунок передбачає визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію і зручності транспортування та монтажу.

Знаходимо товщину стінки під дією внутрішнього надлишкового тиску:

$$S_p = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi - p} \quad (5.1)$$

де $\varphi = 1$ – коефіцієнт міцності зварного шва.

Визначаємо товщину обичайки:

$$S_{об} = S_p + C_1 \quad (5.2)$$

де C_1 – прибавка на компенсацію корозії:

$$C_1 = \Pi \cdot \tau \quad (5.3)$$

За отриманим значенням $S_{об}$, вибираємо стандартний лист.

За вибраним значенням товщини листа знаходимо значення від'ємного допуску:

$$C_2 = 0,1S_{об} \quad (5.4)$$

Розрахуємо суму додатків до товщини:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (5.5)$$

де C_3 – технологічна прибавка, яка дорівнює і визначається заводом і пов'язана зі зміною листа при формуванні деталі.

Визначаємо допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi(S_{об} - C)}{D + (S_{об} - C)} \quad (5.6)$$

Програма і блок схема розрахунку представлені в Додатку Г.

Висновок: Умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки обичайки забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Розрахунок вітрового навантаження

Метою даного розрахунку є перевірка апарату на міцність та стійкість апарату під дією вітрового навантаження.

Даний розрахунок ведеться за методикою[16].

Розрахункова схема наведена на рисунку 5.3.

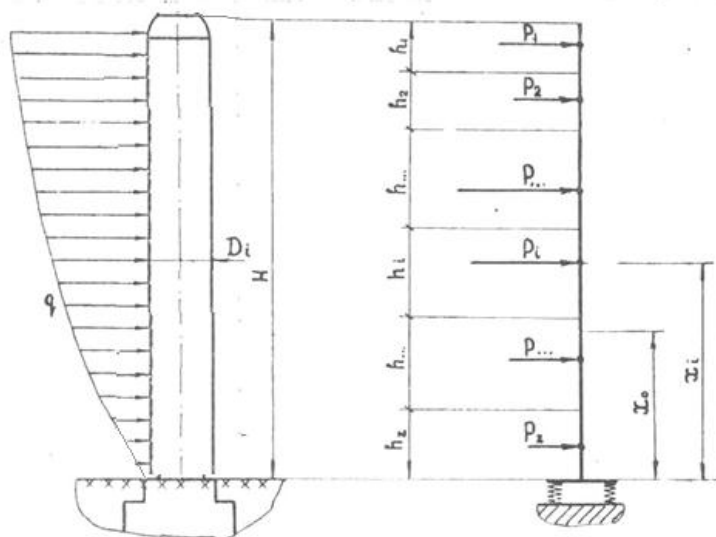


Рисунок 5.3 – Розрахункова схема апарату

Вихідні дані:

діаметр апарата D , м	2,4;
розрахунковий тиск p , МПа	3,42;
вага G , кН	180;
висота колони H , м	10,7;
діаметр колони D , м	2,4;
висота опорної обичайки h , м	1;
товщина стінки s , м	0,04;
додаток до розрахункової товщини C , м	0,001;
температура стінки t , °C	80;
модуль пружності матеріалу апарата E , Па	$1,8 \cdot 10^{11}$;
допустиме навантаження $[\sigma]$, Мпа	122;
матеріал	09Г2С.

Апарат розглядається в вигляді консольного вертикального стрижня. Вітрове навантаження змінюється по висоті колони, таким чином розділимо апарат на $z = 5$ ділянок, висотою $h_i = 2,142$ м. Вага кожної ділянки $G_i = G/z = 36000$ Н. Нумерація ділянок проводиться зверху до низу. Відстань x_i до центру ваги:

$$x_1 = 9,639 \text{ м}, x_2 = 7,497 \text{ м}, x_3 = 5,355 \text{ м}, x_4 = 3,213 \text{ м}, x_5 = 1,071 \text{ м}.$$

Момент інерції перерізу фундаменту:

$$I_F = 1,3 \frac{\pi}{64} D_k^4 = 1,3 \cdot \frac{3,14}{64} \cdot 2,72 = 3,491 \text{ м}^4,$$

де D_k – діаметр фундаментного кільця.

Момент інерції основного верхнього перерізу колони, а оскільки колона має постійний переріз $D_1 = D_2 = D_3$ та товщину стінки $S_1 = S_2 = S_3$, то:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \frac{\pi}{64} [(D + 2s - 2C)^4 - D^4] =$$

$$= \frac{3,14}{64} [(2,4 + 2 \cdot 0,04 - 20,001)^4 - 2,4^4] = 0,222 \text{ м}^4.$$

Період основного тону коливань стрижня постійного перерізу:

$$T_0 = 1,8H \sqrt{\frac{G}{g} \cdot \frac{H}{E \cdot I}} = 1,8 \cdot 10,71 \cdot \sqrt{\frac{180000}{9,8} \cdot \frac{10,71}{1,8 \cdot 10^{11} \cdot 0,222}} = 0,043 \text{ с}.$$

Період основного тону особистих коливань пружно защемленого стрижня постійного перерізу розраховується:

$$T = T_0 \sqrt{1 + \frac{4 \cdot E \cdot I}{H \cdot C_F \cdot I_F}} = 0,043 \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 1,8 \cdot 10^{11} \cdot 0,222}{10,71 \cdot 10^8 \cdot 0,222}} = 1,4 \text{ с},$$

де C_F – коефіцієнт нерівномірності стиснення ґрунту, взято з [43].

За графіками для визначення коефіцієнтів Δ, λ, μ за [43] визначаємо коефіцієнти:

$\Delta = \frac{1}{3}, \lambda = 0, \mu = 0$, також розраховуємо коефіцієнт γ :

$$\gamma = \frac{2}{H^3} (H^3 \cdot \Delta) = \frac{2}{10,71^3} \left(10,71^3 \cdot \frac{1}{3} \right) = 0,667.$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Коефіцієнт β_i для кожної з ділянок визначається за залежністю:

$$\beta_i = \left(\frac{x_i}{H}\right)^{\left(1,9-0,375\frac{x_i}{H}\right)};$$

$$\beta_1 = \left(\frac{9,639}{10,71}\right)^{\left(1,9-0,375\frac{9,639}{10,71}\right)} = 0,848;$$

$$\beta_2 = \left(\frac{7,497}{10,71}\right)^{\left(1,9-0,375\frac{7,497}{10,71}\right)} = 0,558;$$

$$\beta_3 = \left(\frac{5,355}{10,71}\right)^{\left(1,9-0,375\frac{5,355}{10,71}\right)} = 0,305;$$

$$\beta_4 = \left(\frac{3,213}{10,71}\right)^{\left(1,9-0,375\frac{3,213}{10,71}\right)} = 0,116;$$

$$\beta_5 = \left(\frac{1,071}{10,71}\right)^{\left(1,9-0,375\frac{1,071}{10,71}\right)} = 0,014.$$

Відносне переміщення центрів ваги ділянок

$$\alpha_i = \gamma \frac{H}{2 \cdot E \cdot I} \beta_i + \frac{x_i}{H \cdot C_F \cdot I_F} \cdot \frac{1}{H_M};$$

$$\alpha_1 = 0,667 \frac{10,71}{2 \cdot 1,8 \cdot 10^{11} \cdot 0,222} 0,848 + \frac{9,639}{10,71 \cdot 10^8 \cdot 0,222} = 2,654 \cdot 10^{-9};$$

$$\alpha_2 = 0,667 \frac{10,71}{2 \cdot 1,8 \cdot 10^{11} \cdot 0,222} 0,558 + \frac{7,497}{10,71 \cdot 10^8 \cdot 0,222} = 2,055 \cdot 10^{-9};$$

$$\alpha_3 = 0,667 \frac{10,71}{2 \cdot 1,8 \cdot 10^{11} \cdot 0,222} 0,305 + \frac{5,355}{10,71 \cdot 10^8 \cdot 0,222} = 1,459 \cdot 10^{-9};$$

$$\alpha_4 = 0,667 \frac{10,71}{2 \cdot 1,8 \cdot 10^{11} \cdot 0,222} 0,116 + \frac{3,213}{10,71 \cdot 10^8 \cdot 0,222} = 8,697 \cdot 10^{-10};$$

$$\alpha_5 = 0,667 \frac{10,71}{2 \cdot 1,8 \cdot 10^{11} \cdot 0,222} 0,014 + \frac{1,071}{10,71 \cdot 10^8 \cdot 0,222} = 2,877 \cdot 10^{-10}.$$

Коефіцієнт θ_i , враховує зміну швидкості напору по висоті апарату, визначається формулою для усіх ділянок:

$$\theta_i = \left(\frac{x_i}{10}\right)^{0,32};$$

$$\theta_1 = \left(\frac{9,639}{10} \right)^{0,32} = 0,988;$$

$$\theta_2 = \left(\frac{7,497}{10} \right)^{0,32} = 0,912;$$

$$\theta_3 = \left(\frac{5,355}{10} \right)^{0,32} = 0,819;$$

$$\theta_4 = \left(\frac{3,213}{10} \right)^{0,32} = 0,695;$$

$$\theta_5 = \left(\frac{1,071}{10} \right)^{0,32} = 0,489.$$

Нормативний швидкісний напір $q_0 = 350 \text{ Н/м}^2$, залежить від місця встановлення апарату, визначаємо за таблицями, приведеними, в [16].

Нормативне значення статичної складової вітрового навантаження на середині i – тої ділянки, з врахуванням аеродинамічного коефіцієнта $k = 0,7$:

$$q_{ist} = q_0 \theta_i k, \text{ Н/м}^2;$$

$$q_{1st} = 350 \cdot 0,988 \cdot 0,7 = 242,134;$$

$$q_{2st} = 350 \cdot 0,912 \cdot 0,7 = 223,424;$$

$$q_{3st} = 350 \cdot 0,819 \cdot 0,7 = 200,618;$$

$$q_{4st} = 350 \cdot 0,695 \cdot 0,7 = 170,364;$$

$$q_{5st} = 350 \cdot 0,489 \cdot 0,7 = 119,867;$$

Статична складова на i – тій ділянці:

$$P_{ist} = q_{ist} D h_i, \text{ Н};$$

$$P_{1st} = 242,134 \cdot 2,4 \cdot 2,142 = 1245;$$

$$P_{2st} = 223,424 \cdot 2,4 \cdot 2,142 = 1149;$$

$$P_{3st} = 200,618 \cdot 2,4 \cdot 2,142 = 1031;$$

$$P_{4st} = 170,364 \cdot 2,4 \cdot 2,142 = 875,8;$$

$$P_{5st} = 119,867 \cdot 2,4 \cdot 2,142 = 616,2;$$

Коефіцієнт пульсації швидкості напору m_i для середини i – тої ділянки визначається формулою:

$$m_i = 0,6(x_i/10)^{-0,16};$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

$$m_1 = 0,6 \left(\frac{9,639}{10} \right)^{-0,16} = 0,604;$$

$$m_2 = 0,6 \left(\frac{7,497}{10} \right)^{-0,16} = 0,628;$$

$$m_3 = 0,6 \left(\frac{5,355}{10} \right)^{-0,16} = 0,663;$$

$$m_4 = 0,6 \left(\frac{3,213}{10} \right)^{-0,16} = 0,72;$$

$$m_5 = 0,6 \left(\frac{1,071}{10} \right)^{-0,16} = 0,858.$$

Приведене відносне прискорення центра ваги i – тої ділянки:

$$\eta_i = \alpha_i \frac{\sum_{i=1}^Z \alpha_i m_i P_{ist}}{\sum_{i=1}^Z \alpha_i^2 G_i};$$

$$\begin{aligned} \eta_1 = & 2,654 \cdot 10^{-9} \cdot (2,654 \cdot 10^{-9} \cdot 0,604 \cdot 1245 + 2,055 \cdot 10^{-9} \cdot 0,628 \cdot 1149 + \\ & + 1,459 \cdot 10^{-9} \cdot 0,663 \cdot 1031 + 8,697 \cdot 10^{-10} \cdot 0,72 \cdot 875,8 + \\ & + 2,877 \cdot 10^{-10} \cdot 0,858 \cdot 616,2) / [(2,654 \cdot 10^{-9})^2 + (2,055 \cdot 10^{-9})^2 + \\ & + (1,459 \cdot 10^{-9})^2 + (8,697 \cdot 10^{-10})^2 + (2,877 \cdot 10^{-10})^2] \cdot 36 \cdot 10^4 = 0,027; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_2 = & 2,055 \cdot 10^{-9} \cdot (2,654 \cdot 10^{-9} \cdot 0,604 \cdot 1245 + 2,055 \cdot 10^{-9} \cdot 0,628 \cdot 1149 + \\ & + 1,459 \cdot 10^{-9} \cdot 0,663 \cdot 1031 + 8,697 \cdot 10^{-10} \cdot 0,72 \cdot 875,8 + \\ & + 2,877 \cdot 10^{-10} \cdot 0,858 \cdot 616,2) / [(2,654 \cdot 10^{-9})^2 + (2,055 \cdot 10^{-9})^2 + \\ & + (1,459 \cdot 10^{-9})^2 + (8,697 \cdot 10^{-10})^2 + (2,877 \cdot 10^{-10})^2] \cdot 36 \cdot 10^4 = 0,021; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_3 = & 1,459 \cdot 10^{-9} \cdot (2,654 \cdot 10^{-9} \cdot 0,604 \cdot 1245 + 2,055 \cdot 10^{-9} \cdot 0,628 \cdot 1149 + \\ & + 1,459 \cdot 10^{-9} \cdot 0,663 \cdot 1031 + 8,697 \cdot 10^{-10} \cdot 0,72 \cdot 875,8 + \\ & + 2,877 \cdot 10^{-10} \cdot 0,858 \cdot 616,2) / [(2,654 \cdot 10^{-9})^2 + (2,055 \cdot 10^{-9})^2 + \\ & + (1,459 \cdot 10^{-9})^2 + (8,697 \cdot 10^{-10})^2 + (2,877 \cdot 10^{-10})^2] \cdot 36 \cdot 10^4 = 0,015; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_4 = & 8,697 \cdot 10^{-10} \cdot (2,654 \cdot 10^{-9} \cdot 0,604 \cdot 1245 + 2,055 \cdot 10^{-9} \cdot 0,628 \cdot 1149 + \\ & + 1,459 \cdot 10^{-9} \cdot 0,663 \cdot 1031 + 8,697 \cdot 10^{-10} \cdot 0,72 \cdot 875,8 + \end{aligned}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

$$+2,877 \cdot 10^{-10} \cdot 0,858 \cdot 616,2)/[(2,654 \cdot 10^{-9})^2 + (2,055 \cdot 10^{-9})^2 + (1,459 \cdot 10^{-9})^2 + (8,697 \cdot 10^{-10})^2 + (2,877 \cdot 10^{-10})^2] \cdot 36 \cdot 10^4 = 0,008783;$$

$$\eta_5 = 2,877 \cdot 10^{-10} \cdot (2,654 \cdot 10^{-9} \cdot 0,604 \cdot 1245 + 2,055 \cdot 10^{-9} \cdot 0,628 \cdot 1149 + 1,459 \cdot 10^{-9} \cdot 0,663 \cdot 1031 + 8,697 \cdot 10^{-10} \cdot 0,72 \cdot 875,8 + 2,877 \cdot 10^{-10} \cdot 0,858 \cdot 616,2)/[(2,654 \cdot 10^{-9})^2 + (2,055 \cdot 10^{-9})^2 + (1,459 \cdot 10^{-9})^2 + (8,697 \cdot 10^{-10})^2 + (2,877 \cdot 10^{-10})^2] \cdot 36 \cdot 10^4 = 0,002905.$$

Безрозмірний параметр:

$$\varepsilon = \frac{T \cdot \sqrt{q_0}}{840} = \frac{0.283 \cdot \sqrt{350}}{840} = 0.0063.$$

Коефіцієнт $\nu = 0,7$, встановлюючи корекцію пульсації швидкості вітру, визначається завдяки безрозмірного параметра, знайденого вище, з [16].

Коефіцієнт динамічності знаходимо:

$$\xi = 1,29 + 15,47 \cdot \varepsilon = 1,29 + 15,47 \cdot 0,0063 = 1,387.$$

Динамічна складова вітрового навантаження на i – тій ділянці:

$$P_{idyn} = \nu G_i \xi \eta_i;$$

$$P_{1dyn} = 0.7 \cdot 36 \cdot 10^4 \cdot 1,387 \cdot 0,027 = 936,997;$$

$$P_{2dyn} = 0.7 \cdot 36 \cdot 10^4 \cdot 1,387 \cdot 0,027 = 725,558;$$

$$P_{3dyn} = 0.7 \cdot 36 \cdot 10^4 \cdot 1,387 \cdot 0,015 = 515,318;$$

$$P_{4dyn} = 0.7 \cdot 36 \cdot 10^4 \cdot 1,387 \cdot 0,008783 = 307,084;$$

$$P_{5dyn} = 0.7 \cdot 36 \cdot 10^4 \cdot 1,387 \cdot 0,002905 = 101,573.$$

Вітрове навантаження на i – тій ділянці:

$$P_i = P_{ist} + P_{idyn}, H;$$

$$P_1 = 1245 + 936,997 = 2128;$$

$$P_2 = 1149 + 725,558 = 1874;$$

$$P_3 = 1031 + 515,318 = 1547;$$

$$P_4 = 875,8 + 307,084 = 1183;$$

$$P_5 = 616,2 + 101,573 = 717,8;$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Сумарний згинаючий момент в перерізі від дії вітрового навантаження:

$$M = \sum_{i=1}^z P_i(x_i - h),$$

$$M = 2128 \cdot (9,639 - 1) + 1874 + (7,497 - 1) + 1547 \cdot (5,355 - 1) + 1183 \cdot (3,213 - 1) + 717,8 \cdot (1,071 - 1) = 40430 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Оскільки розрахунковий навітряний тиск $P = 0.1$ МПа, а вага колони дорівнює осьовій стискаючій силі $G = F = 0.18$ МН, є розрахований згинаючий момент в перерізі від дії вітрового навантаження, можна перевірити колону на міцність, для цього розрахуємо меридіальне напруження на навітряній стороні:

$$\begin{aligned} \sigma_{N1} &= \frac{P(D + S)}{4(S - C)} + \frac{F}{\pi D(S - C)} + \frac{4M}{\pi D^2(S - C)} = \\ &= \frac{-0.1 \cdot (2,4 \cdot 0,04)}{4 \cdot (0,04 - 0,001)} - \frac{0,18}{3,14 \cdot 2,4 \cdot (0,04 - 0,001)} + \frac{4 \cdot 40430}{3,14 \cdot 2,4^2 \cdot (0,04 - 0,001)} = \\ &= -16,02 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Напруження на підвітряній стороні:

$$\begin{aligned} \sigma_{N2} &= \frac{P(D + S)}{4(S - C)} - \frac{F}{\pi D(S - C)} - \frac{4M}{\pi D^2(S - C)} = \\ &= \frac{-0.1 \cdot (2,4 \cdot 0,04)}{4 \cdot (0,04 - 0,001)} - \frac{0,18}{3,14 \cdot 2,4 \cdot (0,04 - 0,001)} - \frac{4 \cdot 40430}{3,14 \cdot 2,4^2 \cdot (0,04 - 0,001)} = \\ &= -16,48 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Кільцеве напруження:

$$\sigma_t = \frac{P(D + S)}{2(S - C)} = \frac{-0.1 \cdot (2,4 \cdot 0,04)}{2 \cdot (0,04 - 0,001)} = 31,28 \text{ МПа}$$

Еквівалентне напруження на навітряній стороні:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{екв1}} &= \sqrt{\sigma_{N1}^2 - \sigma_{N1} \sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} + \left(\sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} \right)^2} = \\ &= \sqrt{-16,02^2 - 16,02 \cdot 31,28 \cdot 1 + (31,28 \cdot 1)^2} = 41,67 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

За [43] рекомендовано брати відношення $\frac{\varphi_T}{\varphi_N} = 1$.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Еквівалентне напруження на підвітряній стороні:

$$\sigma_{\text{екв2}} = \sqrt{\sigma_{N2}^2 - \sigma_{N1} \sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} + \left(\sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} \right)^2} =$$
$$= \sqrt{-16,48^2 - 16,02 \cdot 31,28 \cdot 1 + (31,28 \cdot 1)^2} = 42,02 \text{ МПа},$$

Перевірка умови міцності, МПа:

$$[\sigma] \geq \max\{|\sigma_{\text{екв1}}|, |\sigma_{\text{екв2}}|\};$$
$$122 \geq \max\{|41,67|, |42,02|\}.$$

Умова міцності виконується, а отже можлива подальша перевірка колони на стійкість. Для цього спочатку задамося коефіцієнтами згідно [16]:

$n_y = 2,4$ – коефіцієнт запасу стійкості в робочих умовах;

Величина $l = (H - 1,5)/4 = (10,71 - 1,5)/4 = 2,303$, та

$$B_1 = \min \left\{ 1; 8,15 \frac{D}{l} \sqrt{\frac{D}{100(S - C)}} \right\} =$$
$$= \min \left\{ 1; 8,15 \frac{2,4}{2,303} \sqrt{\frac{2,4}{100(0,04 - 0,001)}} \right\} = \{1; 6,664\} = 1.$$

Допустиме зовнішній тиск з умови стійкості в межах пружності:

$$[P]_E = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l} \cdot \left[\frac{100(S - C)}{D} \right]^2 \sqrt{\frac{100(S - C)}{D}} =$$
$$= \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot 1,8 \cdot 10^{11}}{2,4 \cdot 1} \cdot \frac{2,4}{2,303} \cdot \left[\frac{100(0,04 - 0,001)}{2,4} \right]^2 \sqrt{\frac{100(0,04 - 0,001)}{2,4}} =$$
$$= 4,737 \text{ МПа}.$$

Допустимий тиск з умови міцності:

$$[P]_P = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 122 \cdot (0,04 - 0,001)}{2,4 + (0,04 - 0,001)} = 3,9 \text{ МПа}.$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Допустиме напружений тиск:

$$[P] = \frac{[P]_P}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_P}{[P]_E}\right)^2}} = \frac{3,9}{\sqrt{1 + \left(\frac{3,9}{4,737}\right)^2}} = 3,012 \text{ МПа.}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умови місцевої та загальної стійкості в межах пружності відповідно:

$$\begin{aligned} [F]_{E1} &= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} D^2 \left[\frac{100(S - C)}{D} \right]^2 \sqrt{\frac{100(S - C)}{D}} = \\ &= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,8 \cdot 10^{11}}{2,4} \cdot 2,4 \cdot \left[\frac{100(0,04 - 0,001)}{2,4} \right]^2 \sqrt{\frac{100(0,04 - 0,001)}{2,4}} = \\ &= 450 \text{ МН;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [F]_{E2} &= \frac{\pi(D + S - C)(S - C)E}{n_y} \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 = \\ &= \frac{3,14(2,4 + 0,04 - 0,001)(0,04 - 0,001) \cdot 1,8 \cdot 10^{11}}{2,4} \left(\frac{3,14}{12,417}\right)^2 = 150,9 \text{ МН,} \end{aligned}$$

де гнучкість:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot H}{D + S - C} = \frac{2,83 \cdot 10,71}{2,4 + 0,04 - 0,001} = 12,417.$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умови стійкості:

$$[F]_E = \min\{[F]_{E1}; [F]_{E2}\} = \min\{450; 150,9\} = 450 \text{ МН.}$$

Допустиме осьове стискаjące зусилля:

$$\begin{aligned} [F]_P &= \pi(D + S - C)(S - C)[\sigma] = \\ &= 3,14(2,4 + 0,04 - 0,001)(0,04 - 0,001) = 36,44 \text{ МН.} \end{aligned}$$

Допустиме осьове стискаjące зусилля:

$$[F] = \frac{[F]_P}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_P}{[F]_E}\right)^2}} = [P] = \frac{36,44}{\sqrt{1 + \left(\frac{36,44}{450}\right)^2}} = 36,32 \text{ МН.}$$

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Допустимий стискаючий момент з умови міцності:

$$[M]_P = \frac{D}{4} [F]_P = \frac{2,4}{4} 36,44 = 24,99 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Допустимий стискаючий момент з умови стійкості:

$$[M]_E = \frac{D}{3,5} [F]_{E1} = \frac{2,4}{3,5} 450 = 309,1 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Допустимий стискаючий момент:

$$[M] = \frac{[M]_P}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_P}{[M]_E}\right)^2}} = [P] = \frac{24,99}{\sqrt{1 + \left(\frac{24,99}{309,1}\right)^2}} = 24,91 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Виконаємо перевірку стійкості колони:

$$\frac{P}{[P]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1$$
$$\frac{0,1}{3,012} + \frac{0,18}{36,32} + \frac{0,04043}{24,91} = 0,04 < 1.$$

Як бачимо умова міцності та стійкості апарату під дією вітрового навантаження виконується.

5.4 Розрахунок ізоляції

Мета розрахунку: визначити товщину ізоляції.

Даний розрахунок ведеться за методикою[17].

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.4

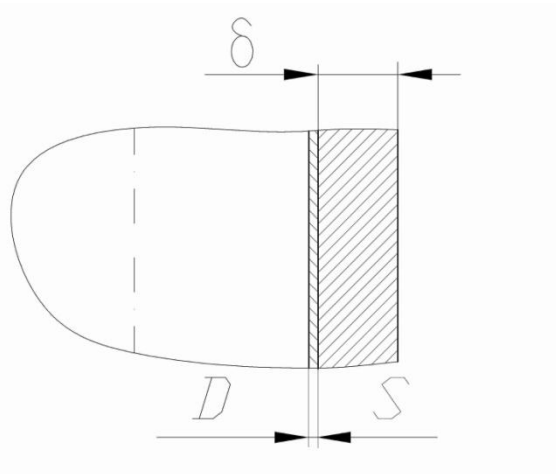


Рисунок 5.4 – Розрахункова схема ізоляції

Вихідні дані:

температура навколишнього середовища, К, t_n	293
температура стінки апарату, К, t_{cm}	724
коефіцієнт теплопровідності азбесту, Вт/(м·К), λ	0,151

$$\Delta t = t_{cm} - t_n = 724 - 293 = 431$$

Визначимо сумарний коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище випромінюванням і конвекцією по рівнянню:

$$\alpha = 9,74 + 0,07\Delta t = 9,74 + 0,07 \cdot 431 = 39,9, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Питомий тепловий потік:

$$q = \alpha(t_{cm} - t_n) = 39,9 \cdot 431 = 17197, \text{ Вт/м}^2.$$

Товщина ізоляції:

$$\delta = \frac{\lambda}{q}(t_{cm} - t_n) = \frac{0,151}{17197}(431) = 0,08, \text{ м},$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності азбесту, $\lambda = 0,151$, Вт/(м·К).

Приймаємо товщину ізоляції 0,1м.

Висновок: товщина ізоляції складає 0,1м.

5.6 Параметричний розрахунок повітряного холодильника

Метою розрахунку є визначення необхідної поверхні теплообміну та вибір нормалізованої конструкції апарата, яка оптимально задовольняє заданим технологічним умовам.

Розрахунок проведемо за методикою [18].

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.5.

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вхіднідані:

Тиск в міжтрубному просторі P_t , МПа	0,1;
Тиск в трубному просторі P_m , МПа	1,6;
Кількість бензину, що охолоджується G_1 , кг/с	15;
Початкова температура бензину T_1' , К	724;
Кінцева температура бензину T_1'' , К	463;
Початкова температура повітря T_2' , К	288;
Кінцева температура повітря T_2'' , К	318.

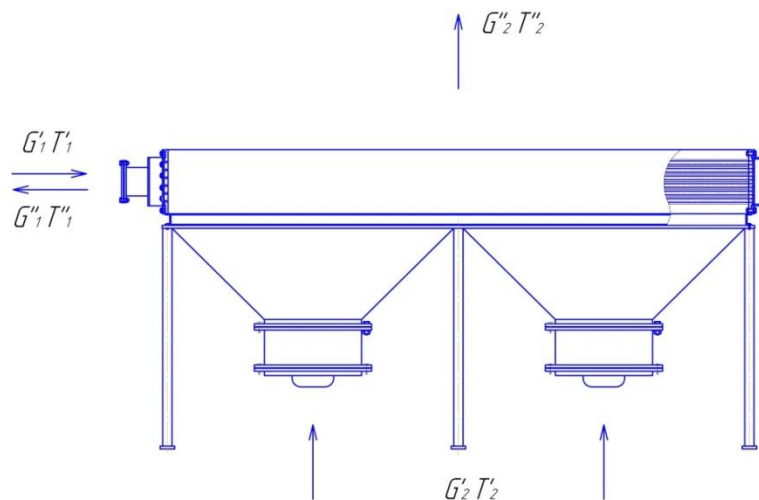


Рисунок 5.5 – Розрахункова схема секції холодильника повітряного

Теплове навантаження визначаємо за формулою:

$$Q_1 = G_1 \cdot C_p \cdot (T_1' - T_1'') = 15 \cdot 2,275 \cdot (724 - 463) = 8,907 \cdot 10^3 \text{ кДж/с}$$

Зрівняння теплового балансу холодильника

$$G_1 (q_{T_1'}^p - q_{T_1''}^p) = G_2 (c_p'' T_2'' - c_p' T_2')$$

Знайдемо кількість повітря:

$$G_2 = \frac{G_1 \cdot C_p \cdot (T_1' - T_1'')}{c_p'' T_2'' - c_p' T_2'} = \frac{Q_1}{c_p'' T_2'' - c_p' T_2'} = \frac{8,907 \cdot 10^3 \cdot 3600}{1,009 \cdot 318 - 1,005 \cdot 288} = 1,02 \cdot 10^6 \text{ кг/час},$$

де c_p'' , c_p' – середні теплоємності повітря відповідно при його кінцевій та початковій температурах, кДж/(кг·К).

Знайдемо густину повітря при його початковій температурі $T_2' = 288 \text{ K}$ та барометричному тиску, рівному нормальному $P_0 = 101308 \text{ Па}$, з рівняння:

$$\rho_B = \frac{\rho_0 T_0}{T_2'} = \frac{1,294 \cdot 273}{288} = 1,227 \text{ кг/м}^3$$

де ρ_0 – густина повітря при нормальних умовах, кг/м^3 .

Секундна розрахункова витрата повітря:

$$V_B = \frac{G_2}{3600 \rho_B} = \frac{1,02 \cdot 10^6}{3600 \cdot 1,227} = 231,087 \text{ м}^3/\text{с}$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони бензину.

Визначимо фізичні властивості бензину при його середній температурі в холодильнику:

$$T_{cp} = \frac{T_1' + T_1''}{2} = \frac{724 + 463}{2} = 593,5 \text{ K}$$

Коефіцієнт теплопровідності бензину беремо за табличними даними [15]:

$$\lambda_{cp} = 0,108 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$$

Теплоємність бензину беремо за табличними даними [18]:

$$c_{cp} = 2,27 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$$

Відносну густину бензину беремо за табличними даними [15]:

$$\rho = 712,5 \text{ кг/м}^3$$

Кінематичну в'язкість бензину при $T_{cp,1} = 594 \text{ K}$ приймаємо по практичним даним [18]: $\nu_{cp} = 3,133 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

Визначимо мінімальну лінійну швидкість руху бензину в трубах холодильника, при якій буде забезпечуватись стійкий турбулентний потік, тобто при якій $Re_{min} = 10^4$

$$Re = 10^4 = \frac{\omega_{min} d_1}{\nu_{cp,1}}$$

Звідки:

$$\omega_{min} = \frac{\nu_{cp} 10^4}{d_1} = \frac{10^4 \cdot 3,133 \cdot 10^{-7}}{0,021} = 0,149 \text{ м/с}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $\omega = 0,2$ м/с

Тоді:

$$\text{Re} = \frac{0,2 \cdot 0,021}{3,133 \cdot 10^{-7}} = 13410$$

При $\text{Re} \geq 10^4$ визначимо коефіцієнт тепловіддачі з боку бензину.

Знайдемо критерій Прандтля при температурі $T_{cp} = 594$ К:

$$\text{Pr}_{cp} = \frac{\nu_{cp} c_{p_{cp}} \rho_{cp}}{\lambda_{cp}} = \frac{3,133 \cdot 10^{-7} \cdot 2,27 \cdot 712,5 \cdot 3600}{0,108} = 17,389$$

Попередньо приймаємо (з наступною перевіркою) температуру стінки труби з боку бензину $T_{\omega} = 534$ К. Знаходимо також, як це зроблено вище, фізичні параметри бензину при цій температурі: $\nu_{\omega} = 3,192 \cdot 10^{-7}$ м²/с; $\rho_{\omega} = 714,3$; $\lambda_{\omega} = 0,108$ кДж/(м·ч·К); $c_{p_{\omega}} = 2,258$ кДж/(кг·К)

Тоді критерій Прандтля при $T_{\omega} = 336$ К

$$\text{Pr}_{\omega} = \frac{\nu_{cp} c_{p_{cp}} \rho_{cp}}{\lambda_{cp}} = \frac{3,192 \cdot 10^{-7} \cdot 2,258 \cdot 714,3 \cdot 3600}{0,108} = 17,658$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку бензину:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 0,021 \frac{\lambda_{cp}}{d_1} \text{Re}_{cp}^{0,8} \text{Pr}_{cp}^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}_{cp}}{\text{Pr}_{\omega}} \right)^{0,25} \varepsilon_l = \\ &= 0,021 \frac{0,108}{0,021} \cdot 13410^{0,8} \cdot 17,389^{0,43} \left(\frac{17,389}{17,658} \right)^{0,25} \cdot 1 = 736,032 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \end{aligned}$$

де Pr_{cp} – критерій Прандтля при температурі $T_{cp} = 534$ К;

Pr_{ω} – критерій Прандтля при температурі стінки труби з боку бензину T_{ω} ;

ε_l – поправковий коефіцієнт, який враховує відношення довжини труби L до її діаметра, в нашому випадку рівнийо одиниці.

Величину ω_0 визначаємо по формулі

$$\omega_0 = \omega_n \cdot \frac{\sigma}{\sigma - 1 - 2 \cdot \frac{\delta_p}{d_3} \cdot \frac{h_p}{d_3} \cdot \frac{d_3}{S_p}}$$

ω_n - швидкість набігаючого повітряного потоку при вході в трубний пучок;

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

S_n - поперечний шаг оребрених труб.

$$\sigma = \frac{S_n}{d_3} = \frac{0,052}{0,025} = 2,08$$

$h_p = 0,0105$ м - висота ребра; $S_p = 0,0035$ м - шаг ребер.

де V_o - дійсна секундна витрата, м/с; $F_{ces} = L \times B = 4 \times 4 = 16 \text{ м}^2$ - фронтальна до потоку повітря переріз апарата.

$$\omega_k = \frac{V_o}{L \cdot B} = \frac{231,087}{4 \cdot 4} = 14,443 \text{ м/с}$$

Середня товщина ребра:

$$\delta_p = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} = \frac{0,0006 + 0,0011}{2} = 0,00085 \text{ м}$$

де $\delta_1 = 0,0006$ м - товщина ребра в його вершині; $\delta_2 = 0,0011$ м - товщина ребра в його основі.

Швидкість повітряного потоку в стисненому перерізі:

$$\omega'_0 = \frac{14,443 \cdot 2,08}{2,08 - 1 - 2 \cdot \frac{0,00085}{0,025} \cdot \frac{0,0105}{0,028} \cdot \frac{0,025}{0,0035}} = 34,294 \text{ м/с}$$

При $T_{cp,n}$ динамічна в'язкість повітря $\mu = 18,6 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$

$$\begin{aligned} \alpha_k &= 0,364 \cdot \lambda \cdot \left(\frac{\rho_g \cdot \omega'_0}{\mu} \right)^{0,68} \cdot Pr^{0,33} \cdot d_3^{-0,77} \cdot \delta_p^{0,3} \cdot d_4^{0,15} = \\ &= 0,364 \cdot 0,027 \cdot \left(\frac{1,165 \cdot 34,294}{18,56 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,68} \cdot 0,71^{0,33} \cdot 0,028^{-0,77} \cdot 0,00085^{0,3} \cdot 0,049^{0,15} = 232,132 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}} \end{aligned}$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{пр}$ зі сторони повітря у випадку пучка оребрених труб.

Приведений коефіцієнт тепловіддачі α_{np} враховує конвективний теплообмін між оребреною поверхнею і потоком повітря і передачу тепла теплопровідністю через метал ребер.

α_{np} - для випадку ребристої спіральної поверхні:

$$\alpha_{np} = \left[1 + \frac{F_p}{F_n} \cdot (E \cdot \varepsilon \Delta - 1) \right] \cdot \frac{\psi \cdot \alpha_k}{1 + \beta_3 \cdot \psi \cdot \alpha_k}$$

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де F_p - поверхня ребер

$$F_p = \pi \cdot x \cdot \left(2 \cdot \frac{d_4^2 - d_3^2}{4} + d_4 \cdot \delta_{cp} \right)$$

$x = 286$ - число спіральних витків ребер

$$\begin{aligned} F_p &= \pi \cdot x \cdot \left(2 \cdot \frac{d_4^2 - d_3^2}{4} + d_4 \cdot \delta_{cp} \right) = \\ &= 3,14 \cdot 286 \cdot \left(2 \cdot \frac{0,049^2 - 0,025^2}{4} + 0,049 \cdot 0,00085 \right) = 0,835 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Визначаємо зовнішню поверхню ділянок гладкої труби.

Коефіцієнт теплопередачі для пучка оребрених труб між ребрами:

$$F_{mp} = \pi \cdot d_3 \cdot (1 - x \cdot \delta_2) = 3,14 \cdot 0,025 \cdot (1 - 286 \cdot 0,0011) = 0,054 \text{ м}^2$$

Повна зовнішня поверхня оребреної труби визначається:

$$F_n = F_p + F_{mp} = 0,835 + 0,054 = 0,889 \text{ м}^2$$

Визначаємо попередній коефіцієнт тепловіддачі:

$$\begin{aligned} \alpha_{np} &= \left[1 + \frac{F_p}{F_n} \cdot (E \cdot \varepsilon \Delta - 1) \right] \cdot \frac{\psi \cdot \alpha_\kappa}{1 + \beta_3 \cdot \psi \cdot \alpha_\kappa} = \\ &= \left[1 + \frac{0,835}{0,889} \cdot (2 \cdot 1 - 1) \right] \cdot \frac{0,86 \cdot 232,132}{1 + 0,0006 \cdot 0,86 \cdot 232,132} = 345,765 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \end{aligned}$$

Коефіцієнт теплопередачі для пучка оребрених труб.

Для оребрених металевих труб та забрудненої поверхні теплообміну (внутрішньої та зовнішньої) цей коефіцієнт визначається за формулою:

$$\begin{aligned} k &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_{3,6} + \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_l + \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_a + \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_{3,н} \cdot \frac{F_{cm}}{F_n} + \frac{1}{\alpha_\kappa}} = \\ &= \frac{1}{\frac{1}{736,032} + 0,00035 + 0,000022 + 0,0000073 + 0,00060 \cdot \frac{0,079}{0,889} + \frac{1}{345,765}} = 163,996 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \end{aligned}$$

де $\left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_{3,6}$ - тепловий опір внутрішнього шару забруднення приймаємо для

прямоточного фурфуролу рівним $0,00035 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$;

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

$$\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_l = \frac{0,002}{91,9} = 0,000172 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт} - \text{тепловий опір латунної стінки труби при}$$

$$\delta = 0,002 \text{ м та } \lambda = 91,9 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

$$\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_a = \frac{0,0015}{205} = 0,0000073 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт} - \text{тепловий опір алюмінієвого шару труби при}$$

$$\delta = 0,0015 \text{ м та } \lambda = 205 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

$$\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_{з.н} - \text{тепловий опір зовнішнього шару забруднення - вибираємо в межах}$$

0,00017 - 0,00086, для подальших розрахунків ця величина прийнята рівною 0,00060 (м²·К)/Вт;

F_{cm} - площа поверхні 1м гладкої труби, м²/м;

F_n - повна площа поверхні 1м оребрених труб, м²/м.

Площа поверхні 1м гладкої труби знаходиться за формулою:

$$F_{cm} = \pi \cdot d_s \cdot 1 = 3,14 \cdot 0,028 \cdot 1 = 0,088 \text{ м}^2/\text{м}$$

Середній температурний напір.

При багатоходовому потоці теплоносія в трубному просторі холодильника (в нашому випадку – бензину) і одноходовому потоці теплоносія в міжтрубному просторі (повітря) середній температурний напір визначається за методом Белокопя:

$$\Delta T_{cp} = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{2,31 \lg \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}}}$$

де ΔT_{cp} – середній температурний напір, К;

τ_{\max}, τ_{\min} – відповідно більша та менша різниця температур, яка визначається за формулами:

$$\tau_{\max} = \theta + 0,5\Delta T$$

$$\tau_{\min} = \theta - 0,5\Delta T$$

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

θ - різниця середньо арифметичних температур гарячого та холодного теплоносіїв

$$\theta = \frac{T_1' + T_1''}{2} - \frac{T_2' + T_2''}{2}$$

де ΔT -характеристична зміна температури;

Розрахуємо середню температуру за формулою:

$$\Delta T = \sqrt{(\Delta T_1 + \Delta T_2)^2 - 4P\Delta T_1\Delta T_2}$$

де $\Delta T_1 = T_1' - T_1''$ – перепад температур в гарячому потоці;

$\Delta T_2 = T_2' - T_2''$ – перепад температур в холодному потоці;

P – індекс протитоку. В нашому випадку $P = 0,98$.

Маємо:

$$\Delta T_1 = T_1' - T_1'' = 734 - 463 = 261 \text{ K}$$

$$\Delta T_2 = T_2' - T_2'' = 318 - 288 = 30 \text{ K}$$

$$\Delta T = \sqrt{(\Delta T_1 + \Delta T_2)^2 - 4P\Delta T_1\Delta T_2} = \sqrt{(261 + 30)^2 - 4 \cdot 0,98 \cdot 261 \cdot 30} = 232,352 \text{ K}$$

$$\theta = \frac{T_1' + T_1''}{2} - \frac{T_2' + T_2''}{2} = \frac{734 + 463}{2} - \frac{288 + 318}{2} = 290,5 \text{ K}$$

$$\tau_{\max} = \theta + 0,5\Delta T = 290,5 + 0,5 \cdot 232,352 = 406,676 \text{ K}$$

$$\tau_{\min} = \theta - 0,5\Delta T = 290,5 - 0,5 \cdot 232,352 = 174,324 \text{ K}$$

Тоді:

$$\Delta T_{cp} = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{2,31 \lg \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}}} = \frac{406,676 - 174,324}{2,31 \lg \frac{406,676}{174,324}} = 274,599 \text{ K}$$

Перевіримо температуру стінки труби.

Температуру стінки труби з боку фурфуролу знайдемо за формулою:

$$T_{\omega} = T_{cp} - \frac{k\Delta T_{cp}}{\alpha_1} = 593,5 - \frac{80,83 \cdot 274,599}{736,032} = 532,328 \text{ K}$$

Поверхня теплообміну холодильника та компоновка труб у ньому

Знаходимо поверхню теплообміну:

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F = \frac{Q_1}{k \Delta T_{cp}} = \frac{8,907 \cdot 10^6}{80,83 \cdot 274,599} = 197,815 \text{ м}^2$$

Кількість труб:

$$N = \frac{F}{F_1} = \frac{197,815}{0,314} = 629,985$$

$F_1 = 3,14 \cdot 0,025 \cdot 4 = 0,314 \text{ м}^2$ – поверхня теплообміну однієї труби.

Приймаємо $F_{св} = L \times B = 4 \times 4,7 = 18,8 \text{ м}^2$ - фронтальна до потоку повітря переріз апарата і робимо перерахунок.

$$\omega_k = \frac{V_o}{L \cdot B} = \frac{231,087}{4 \cdot 4,7} = 12,292 \text{ м/с}$$

Середня товщина ребра:

$$\delta_p = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} = \frac{0,0006 + 0,0011}{2} = 0,00085 \text{ м}$$

де $\delta_1 = 0,0006 \text{ м}$ - товщина ребра в його вершині; $\delta_2 = 0,0011 \text{ м}$ - товщина ребра в його основі.

Швидкість повітряного потоку в стисненому перерізі:

$$\omega'_0 = \frac{12,292 \cdot 2,08}{2,08 - 1 - 2 \cdot \frac{0,00085}{0,025} \cdot \frac{0,0105}{0,028} \cdot \frac{0,025}{0,0035}} = 29,196 \text{ м/с}$$

При $T_{ср.л}$ динамічна в'язкість повітря $\mu = 18,6 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$

$$\begin{aligned} \alpha_k &= 0,364 \cdot \lambda \cdot \left(\frac{\rho_g \cdot \omega'_0}{\mu} \right)^{0,68} \cdot Pr^{0,33} \cdot d_3^{-0,77} \cdot \delta_p^{0,3} \cdot d_4^{0,15} = \\ &= 0,364 \cdot 0,027 \cdot \left(\frac{1,165 \cdot 29,186}{18,56 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,68} \cdot 0,71^{0,33} \cdot 0,028^{-0,77} \cdot 0,00085^{0,3} \cdot 0,049^{0,15} = 208,022 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}} \end{aligned}$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{пр}$ зі сторони повітря у випадку пучка оребрених труб.

Приведений коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{пр}$ враховує конвективний теплообмін між оребреною поверхнею і потоком повітря і передачу тепла теплопровідністю через метал ребер.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

α_{np} - для випадку ребристої спіральної поверхні:

$$\alpha_{np} = \left[1 + \frac{F_p}{F_n} \cdot (E \cdot \varepsilon \Delta - 1) \right] \cdot \frac{\psi \cdot \alpha_\kappa}{1 + \beta_3 \cdot \psi \cdot \alpha_\kappa}$$

де F_p - поверхня ребер

$$F_p = \pi \cdot x \cdot \left(2 \cdot \frac{d_4^2 - d_3^2}{4} + d_4 \cdot \delta_{cp} \right)$$

$x = 286$ - число спіральних витків ребер

$$\begin{aligned} F_p &= \pi \cdot x \cdot \left(2 \cdot \frac{d_4^2 - d_3^2}{4} + d_4 \cdot \delta_{cp} \right) = \\ &= 3,14 \cdot 286 \cdot \left(2 \cdot \frac{0,049^2 - 0,025^2}{4} + 0,049 \cdot 0,00085 \right) = 0,835 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Визначаємо зовнішню поверхню ділянок гладкої труби.

Коефіцієнт теплопередачі для пучка оребрених труб між ребрами:

$$F_{mp} = \pi \cdot d_3 \cdot (1 - x \cdot \delta_2) = 3,14 \cdot 0,025 \cdot (1 - 286 \cdot 0,0011) = 0,054 \text{ м}^2$$

Повна зовнішня поверхня оребреної труби визначається:

$$F_n = F_p + F_{mp} = 0,835 + 0,054 = 0,889 \text{ м}^2$$

Визначаємо попередній коефіцієнт тепловіддачі:

$$\begin{aligned} \alpha_{np} &= \left[1 + \frac{F_p}{F_n} \cdot (E \cdot \varepsilon \Delta - 1) \right] \cdot \frac{\psi \cdot \alpha_\kappa}{1 + \beta_3 \cdot \psi \cdot \alpha_\kappa} = \\ &= \left[1 + \frac{0,835}{0,889} \cdot (2 \cdot 1 - 1) \right] \cdot \frac{0,86 \cdot 208,022}{1 + 0,0006 \cdot 0,86 \cdot 232,132} = 313,334 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \end{aligned}$$

Коефіцієнт теплопередачі для пучка оребрених труб.

Для оребрених металевих труб та забрудненої поверхні теплообміну (внутрішньої та зовнішньої) цей коефіцієнт визначається за формулою:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_{3,6} + \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_{\text{л}} + \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_{\text{а}} + \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_{3,н} \cdot \frac{F_{cm}}{F_n} + \frac{1}{\alpha_\kappa}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{736,032} + 0,00035 + 0,000022 + 0,0000073 + 0,00060 \cdot \frac{0,079}{0,889} + \frac{1}{208,022}} = 151,559 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{ К})$$

де $\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_{3.6}$ - тепловий опір внутрішнього шару забруднення приймаємо для

прямоточного фурфуролу рівним $0,00035 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$;

$$\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_\lambda = \frac{0,002}{91,9} = 0,000172 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт} - \text{тепловий опір латунної стінки труби при}$$

$\delta = 0,002 \text{ м}$ та $\lambda = 91,9 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$;

$$\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_a = \frac{0,0015}{205} = 0,0000073 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт} - \text{тепловий опір алюмінієвого шару труби при}$$

$\delta = 0,0015 \text{ м}$ та $\lambda = 205 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$;

$\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_{3.н}$ - тепловий опір зовнішнього шару забруднення - вибираємо в межах

$0,00017 - 0,00086$, для подальших розрахунків ця величина прийнята рівною $0,00060 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$;

F_{cm} - площа поверхні 1м гладкої труби, $\text{м}^2 / \text{м}$;

F_n - повна площа поверхні 1м оребрених труб, $\text{м}^2 / \text{м}$.

Площа поверхні 1м гладкої труби знаходиться за формулою:

$$F_{cm} = \pi \cdot d_s \cdot 1 = 3,14 \cdot 0,028 \cdot 1 = 0,088 \text{ м}^2 / \text{м}$$

Середній температурний напір.

При багатоходовому потоці теплоносія в трубному просторі холодильника (в нашому випадку – бензину) і одноходовому потоці теплоносія в міжтрубному просторі (повітря) середній температурний напір визначається за методом Белокопя:

$$\Delta T_{cp} = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{2,31 \lg \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}}}$$

де ΔT_{cp} – середній температурний напір, К;

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

τ_{\max}, τ_{\min} – відповідно більша та менша різниця температур, яка визначається за формулами:

$$\tau_{\max} = \theta + 0,5\Delta T$$

$$\tau_{\min} = \theta - 0,5\Delta T$$

θ - різниця середньо арифметичних температур гарячого та холодного теплоносіїв

$$\theta = \frac{T_1' + T_1''}{2} - \frac{T_2' + T_2''}{2}$$

де ΔT -характеристична зміна температури;

Розрахуємо середню температуру за формулою:

$$\Delta T = \sqrt{(\Delta T_1 + \Delta T_2)^2 - 4P\Delta T_1\Delta T_2}$$

де $\Delta T_1 = T_1' - T_1''$ – перепад температур в гарячому потоці;

$\Delta T_2 = T_2' - T_2''$ – перепад температур в холодному потоці;

P – індекс протитоку. В нашому випадку $P = 0,98$.

Маємо:

$$\Delta T_1 = T_1' - T_1'' = 734 - 463 = 261 \text{ K}$$

$$\Delta T_2 = T_2' - T_2'' = 318 - 288 = 30 \text{ K}$$

$$\Delta T = \sqrt{(\Delta T_1 + \Delta T_2)^2 - 4P\Delta T_1\Delta T_2} = \sqrt{(261 + 30)^2 - 4 \cdot 0,98 \cdot 261 \cdot 30} = 232,352 \text{ K}$$

$$\theta = \frac{T_1' + T_1''}{2} - \frac{T_2' + T_2''}{2} = \frac{734 + 463}{2} - \frac{288 + 318}{2} = 290,5 \text{ K}$$

$$\tau_{\max} = \theta + 0,5\Delta T = 290,5 + 0,5 \cdot 232,352 = 406,676 \text{ K}$$

$$\tau_{\min} = \theta - 0,5\Delta T = 290,5 - 0,5 \cdot 232,352 = 174,324 \text{ K}$$

Тоді:

$$\Delta T_{cp} = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{2,31 \lg \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}}} = \frac{406,676 - 174,324}{2,31 \lg \frac{406,676}{174,324}} = 274,599 \text{ K}$$

Перевіримо температуру стінки труби.

Температуру стінки труби з боку фурфуролу знайдемо за формулою:

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\omega} = T_{cp} - \frac{k\Delta T_{cp}}{\alpha_1} = 593,5 - \frac{151,559 \cdot 274,599}{736,032} = 536,957 \text{ K}$$

Поверхня теплообміну холодильника та компоновка труб у ньому

Знаходимо поверхню теплообміну:

$$F = \frac{Q_1}{k\Delta T_{cp}} = \frac{8,907 \cdot 10^6}{151,559 \cdot 274,599} = 214,01 \text{ м}^2$$

Кількість труб:

$$N = \frac{F}{F_1} = \frac{214,01}{0,314} = 681,56$$

Висновок: в даному розрахунку ми визначили площу теплообміну апарата $F=214 \text{ м}^2$ та кількість труб яка потрібна для забезпечення теплообміну $N=690$.

5.7 Розрахунок гідравлічного опору

Метою гідравлічного розрахунку є визначення гідравлічного опору в трубному та між трубному просторі повітряного холодильника.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.5.

Вихідні дані:

Середня температура бензину, що охолоджується T_{cp}, K	338;
Швидкість бензину, що охолоджується $W_1, \text{ м/с}$	0,2;
Густина бензину, що охолоджується $\rho_1, \text{ кг/м}^3$	712,5;
Густина бензину, що охолоджує $\rho_2, \text{ кг/м}^3$	1,226;
Зовнішній діаметр труби $d_3, \text{ м}$	0,025.

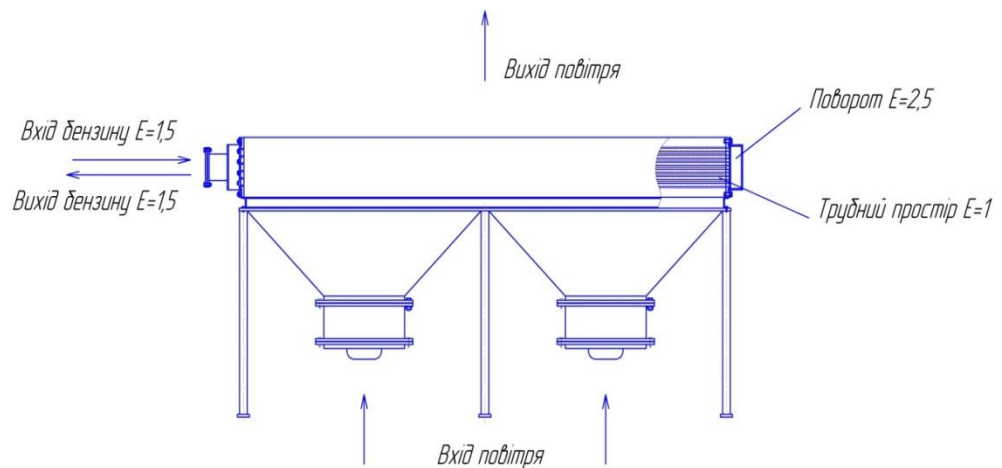


Рисунок 5.5 – Розрахункова схема гідравлічного опору холодильника повітряного

Гідравлічний опір ведеться згідно пункту [].

Гідравлічний опір в трубному просторі.

Середня температура бензину $T_{cp} = 338\text{K}$ і його густина при цій температурі $\rho = 712,5\text{кг/м}^3$, критерій Рейнольдса $Re = 13100$. В трубному просторі витрати тиску на подолання тертя та місцевих опорів визначаються за формулою:

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d_a} + \sum \xi \right) \frac{\rho W^2}{2},$$

де λ - коефіцієнт тертя, $\sum \xi$ - сума коефіцієнтів місцевого опору.

Коефіцієнт λ визначається залежно від режиму. Для вибору розрахункової формули необхідно знати відносну шорсткість труб. Для труб можна прийняти значення абсолютної шорсткості $\Delta = 0,2\text{мм}$.

В теплообміннику має місце зона змішаного тертя.

Тоді коефіцієнт тертя визначаємо за формулою:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_{екв}} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,0002}{0,021} + \frac{68}{13410} \right)^{0,25} = 0,00917.$$

Коефіцієнти місцевих опорів приймаємо згідно до рекомендацій:

Вхідна і вихідна камера $\xi_1 = 1,5$

Вхід і вихід в трубу $\xi_2 = 1$

Поворот між ходами $\xi_3 = 2,5$

Втрати в вхідній і вихідній камері необхідно розраховувати по швидкості в штуцерах $W = 0,2$ м/с.

Тоді втрати тиску в трубному просторі:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l \cdot z}{d} \cdot \frac{W^2 \cdot \rho}{2} + [\xi_3 \cdot (z-1) + 2 \cdot \xi_2 \cdot z] \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2} + 2 \cdot \xi_1 \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2} =$$
$$= 0,038 \cdot \frac{1,5 \cdot 2}{0,021} \cdot \frac{0,2^2 \cdot 712,5}{2} + [2,5(6-1) + 2 \cdot 2 \cdot 2] \cdot \frac{712,5 \cdot 0,2^2}{2} + 2 \cdot 1,5 \cdot \frac{712,5 \cdot 0,2^2}{2} = 168,402 \text{ Па}$$

Аеродинамічний опір пучка труб визначимо за формулою[8]:

$$\Delta P = 0,988 \cdot \rho_B (\omega_0)^2 n_b \left(\frac{S_p}{d_3} \right)^{-0,72} Re^{-0,24},$$

де $\rho_B = 1,226$ кг/м³ – густина повітря припочатковій температурі;

$\omega_0 = 11,005$ м/с-швидкість повітря в стиснутому (вузькому) перетині трубного пучка;

$n_b = 6$ кількість горизонтальних рядів в пучку (по вертикалі);

$d_3 = 0,025$ – зовнішній діаметр труби.

Критерій Рейнольдса, віднесений до діаметра труб d_3 :

$$Re = \frac{\omega_0 \cdot d_3}{\nu} = \frac{11,005 \cdot 0,025}{3,133 \cdot 10^{-7}} = 17877$$

Підставляючи вказані величини у формулу, отримаємо:

$$\Delta P = 9,7 \cdot \frac{1,165}{9,81} \cdot (11,005)^2 \cdot 6 \cdot \left(\frac{0,0035}{0,028} \right)^{-0,72} \cdot 17877^{-0,24} = 356,807 \text{ Па.}$$

Вибраний вентилятор розвиває тиск до 2550 Па, тому з відомим запасом по продуктивності і тиску забезпечить роботу повітряного холодильника.

Потужність повітряного холодильника:

$$N = V \cdot \Delta P = 11,005 \cdot 356,807 = 3,926 \text{ кПа.}$$

Висновок. Визначений гідравлічний опір трубного та між трубного просторів холодильника, які необхідно врахувати для вибору вентилятора (для цього також необхідно визначити гідравлічний опір інших апаратів та трубопроводів, по яким

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

рухаються теплоносії). Підібраний вентилятор має достатню потужність для подолання гідравлічного опору між трубного простору.

5.7 Розрахунок діаметра штуцерів

Мета: вибрати нормалізовані розміри штуцерів за умовним тиском і діаметром, що далі визначається.

Розрахунок проводиться для вибору стандартних штуцерів за тиском та діаметром умовного проходу.

Розрахункова схема штуцера наведена на рисунку 5.6.

Вхідні дані:

Масова витрата бензину, яке охолоджується G_1 , кг/с	15;
Швидкість бензину, яке охолоджується W_1 , м/с	0,2;
Густина бензину, яке охолоджується ρ_1 , кг/м ³	712,5.

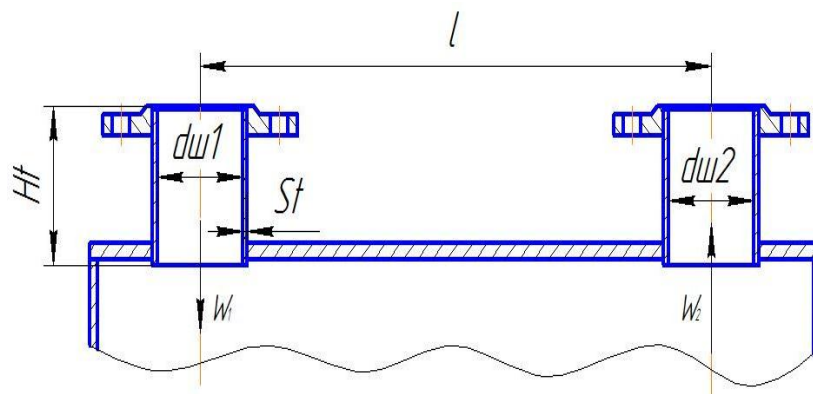


Рисунок 5.6 – Розрахункова схема штуцера

Розрахунок проводимо згідно пункту [].

Розраховуємо діаметр штуцера для входу бензину:

$$d_{ш1} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \rho_1 \cdot W_1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 15}{3,14 \cdot 712,5 \cdot 0,2}} = 0,164 \text{ м,}$$

Розраховуємо діаметр штуцера для виходу бензину:

$$d_{\text{шт2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot \rho_2 \cdot W_2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3}{3,14 \cdot 712,5 \cdot 0,2}} = 0,164 \text{ м},$$

де $G_1 = G_2 = 3 \text{ кг/с}$ – масова витрата бензину,

$W_1 = W_2 = 0,2$ - швидкість бензину.

Висновки: За результатами розрахунків приймаємо стандартні штуцери: штуцер 16-185-20-10, за [] штуцера з фланцями сталевими плоскими приварними зі з'єднанням виступом.

5.8 Розрахунок розміщення отворів в трубній решітці

Мета: визначити оптимальний варіант розміщення отворів в трубній решітці.

Методика проведення даного розрахунку складена згідно норм [15].

Схема розміщення отворів приведена на рисунку 5.7.

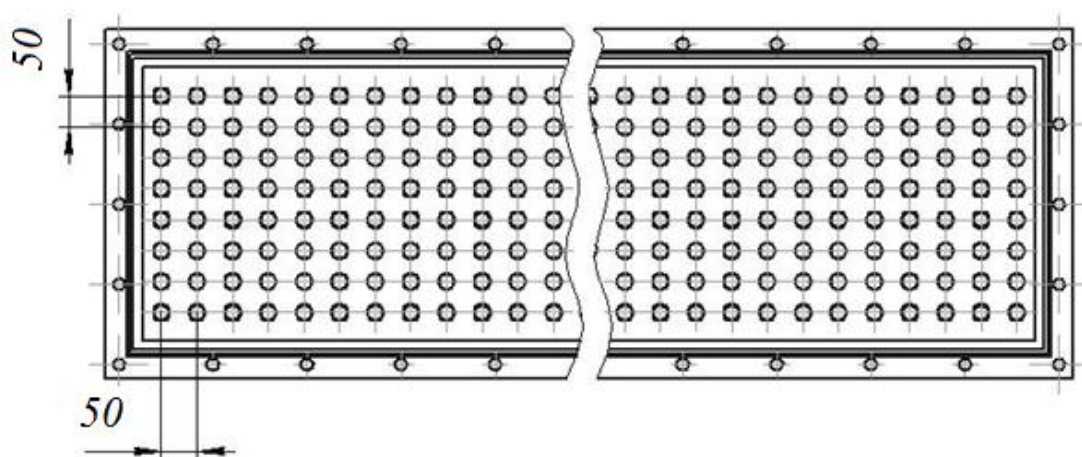


Рисунок 5.7 – Схема розміщення отворів в трубній решітці

Вихідні дані:

Зовнішній діаметр труб $d_{\text{зов}}$, м 0,025.

Розрахунок ведемо за методикою запропонованою авторами [15].

При розміщенні труб необхідно забезпечити компактність, надійне

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

закріплення труб, зручність розмітки трубних плит і монтажу пучка.

Визначаємо кількість труб:

$$N = \frac{F}{F_1} = \frac{214}{0,314} = 681,56,$$

де F_1 – поверхня теплообміну однієї труби.

$$F_1 = \pi \cdot d_b \cdot l = 3,14 \cdot 0,025 \cdot 4 = 0,314 \text{ м}^2.$$

Теоретична загальна кількість труб – 681.

Приймаємо 690 труб, користуючись співвідношенням кількості труб до площі теплообміну, відповідно до зразків апарату.

Охолоджуваний продукт робить послідовно 1 хід.

Висновок: відстань між осями труб по горизонталі приймаємо $t = 50$ мм, а по вертикалі $t = 50$ мм; для даного апарату приймаємо кількість труб 690, розташовуємо їх у коридорному порядку. Таке розташування труб найефективніше забезпечить теплообмін при даних геометричних параметрах теплообмінної секції.

5.9 Розрахунок товщини трубної решітки

Метою розрахунку є визначення товщини трубної решітки.

Методика проведення даного розрахунку складена згідно норм [15].

Схема до розрахунку товщини трубної решітки представлена на рисунку 5.8.

Вихідні дані:

Зовнішні розміри трубної решітки $L_T \times B_T$, м 4x4,7;

Тиск в середині апарату P , МПа 0,1;

Допустиме напруження $[\sigma]_T$, МПа 130.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

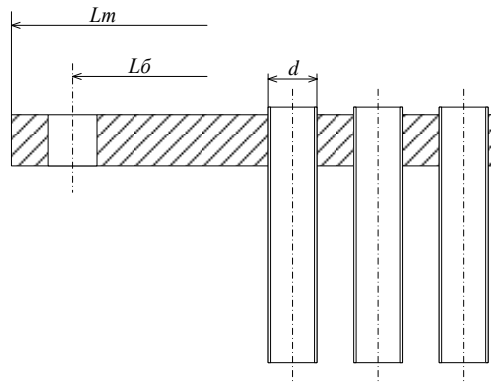


Рисунок 5.8 – Схема до розрахунку товщини трубної решітки

Розрахункова висота трубної решітки:

$$h'_t = B_t \sqrt{\frac{k_1 \cdot P}{[\sigma]_t \cdot \varphi_1}} = 4,7 \sqrt{\frac{0,2 \cdot 0,1}{130 \cdot 0,8}} = 0,068 \text{ м},$$

$$\varphi_1 = \frac{B_t - \sum d}{B_t} = \frac{4,7 - 6 \cdot 0,025}{4,7} = 0,80 ,$$

де k_1 – конструктивний коефіцієнт, що залежить від співвідношення розмірів сторін трубної решітки;

$$\frac{B}{L} = \frac{4700}{4000} = 1,175, \text{ отже вибираємо значення конструктивного коефіцієнта}$$

$$k_1 = 0,2;$$

φ_1 – коефіцієнт ослаблення трубної решітки отворами;

$\sum d$ – сума діаметрів отворів на довжині B_t .

Висновок: з врахуванням прибавки до товщини трубної решітки на корозію, ерозію та мінусовий допуск приймаємо $h_t = 0,070$ м.

6 Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апаратів установки каталітичного риформінгу

6.1 Реактор

6.1.1 Рекомендації, щодо монтажу реактора

Робота реактора без збоїв залежить від точності складання, монтажу, вивірки взаємного положення вузлів та деталей. При розробці робочої документації на машину, розробляють спеціальну монтажну документацію у відповідності до галузевого стандарту [28]. Монтаж обладнання повинен виконуватись у відповідності з вимогами СНІП 3.05.05:

1. Монтаж провести у відповідності з вимогами технічної документації, в якій викладені конструктивні і технологічні особливості реактора:

- монтажно-складальні, монтажно-установочні креслення;
- технічні вимоги заводу-виробника.

2. Монтажу вузлів і частин повинно передувати виконання повного об'єму будівельних робіт.

3. Розпакування обладнання виконують з урахуванням технологічної послідовності складання та монтажу.

4. Для монтажу та подальшого обслуговування цех, в якому проводиться монтаж, повинен мати кран, з двома візками, вантажопідйомністю не менше 15 т.

5. Поставні блоки, які підвішуються до крюків підйомного механізму, повинні бути міцно та надійно закріплені. При цьому:

- стропи повинні бути накладені на блок, що піднімається, без вузлів та перекручувань, та повинні забезпечити стійкість блоків в час підйому.
- на гострих ребрах, блоку що підіймається, під стропи повинні бути підкладені прокладки, для запобігання від перегинів під гострим кутом і перетирання.

6. Перед монтажем ретельно оглянути блоки з метою виявлення

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ушкоджень при транспортуванні та перевірити відповідність фундаменту вимогам креслення.

7. При експлуатації реактора необхідно виконувати правила техніки безпеки та вимоги виробничих інструктажів, для працюючих на даному підприємстві.

6.1.2 Рекомендації, щодо експлуатації реактора

Надійна та тривала робота при мінімальному зношуванні деталей можлива при правильному догляді з дотриманням графіку планово-попереджувальних робіт і підтриманні реактора в справному стані.

Необхідно виконувати огляд реактора кожні 6 – 12 місяців для планово-попереджувального ремонту тривалістю 6 – 8 годин. Кожен рік необхідно зупиняти реактор на 2 – 3 дні для проведення більш крупного ремонту.

Мета такого ремонту – своєчасним оглядом обладнання та заміною зношених деталей та вузлів попередити можливість поломки деталей, забезпечити безперебійну роботу обладнання та попередити його неприпустиме зношення. При планово – спопереджувальному ремонті огляд обладнання проводять у встановлені графіком строки. Деталі та окремі частини замінити в залежності від їх фактичного зносу. Кожні 5 років виконувати зупинку на 15—30 днів для капітального ремонту.

Необхідно впровадити метод крупноблочного вузлового ремонту. Це дозволить зменшити тривалість та покращити якість виконання ремонтних робіт.

6.2 Холодильник

6.2.1 Рекомендації, щодо монтажу холодильника

Перш ніж приступитися до монтажу встаткування, варто підготувати фундамент (для апаратів з нижніми опорами) або несучі металеві конструкції.

					<i>ЛН71мп.066632.001 ПЗ</i>	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед початком роботи з монтажу встаткування необхідно:

- ознайомитися з написами й знаками, нанесеними на впакування, і дотримувати цих вимог;
- зняти впакування з дотриманням необхідних запобіжних заходів, не допускаючи ударів по корпусі встаткування, тому що це може привести до ушкодження покриття усередині апаратів; перевірити наявність і комплектність поставки, наявність повноту технічної й товаросупроводжувальної документації, стан окремих вузлів і деталей, відповідність настановних розмірів устаткування;
- зняти пломби й розкрити апарати, а також провести ревізію покриття відповідно до вимог «Положення про поставки продукції виробничо-технічного призначення»;
- при передачі апаратів у монтаж виробляється візуальний огляд цілісності покриття в присутності представника монтажною організації й представника замовника й складається двосторонній акт передачі апаратів у монтаж.

Підготовка й монтаж встаткування, повинні виконуватися робочим і технічним персоналом, "котрі пройшли спеціальний інструктаж. У зв'язку з особливостями монтажу цього встаткування оцінка про проведення інструктажу повинна бути зроблена у відповідному документі.

Монтаж встаткування повинен проводитися відповідно до вимог технічної документації й дійсної інструкції.

Стропування окремих складальних вузлів й апаратів при підйомі й установці їх у проектне положення повинна вироблятися у відповідності зі схемами, зазначеними в паспорті апарата.

Кількість затискачів і болтів на апаратах повинне відповідати зазначеному в технічній документації. Затягування болтів і затискачів варто робити спочатку одночасно із протилежних сторін, а потім рівномірно, повертаючи гайки від півобороту до одного оберту(мал. 2). При наявності спеціального шаблона варто контролювати правильність установки затискачів на апарату.

випадку, якщо немає необхідності звільнити кришку апарата від корпусу,

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встаткування варто монтувати в зібраному виді: установити комплектуючі вироби, що поставляють в окремому впакуванні, і приєднати трубопроводи.

При зборці встаткування між фланцями допускається застосування тільки м'яких неметалічних прокладок (гуми, азбесту шнурового, комбінованих прокладок із фторопластовим чохлам і т.п.).

При монтажі апаратів варто звернути особливу увагу на старанність розконсервації посадкових місць у сполучають деталях, що, і якість зборки шпонкового з'єднання й муфти.

Установку апаратів у строго вертикальному положенні варто здійснювати за допомогою рівня встановлюваного на контрольну площадку.

При установці апаратів їх піддають вивірці по осях.

Вивірка апаратів здійснюється:

- по осях за допомогою натягнутої струни й висків по монтажних мітках (ризикам);
- вертикальність установки на фундаменті - при по моці рівня, установлюваного на контрольній площадці;
- вертикальність вала - по виску або рамному рівні (для апаратів із пристроєм, що перемішує).

Розташування монтажних міток і контрольної площадки зазначені на складальному кресленні. Для вивірки вертикальності апарата можна приймати за базу оброблені поверхні стійки привода або кришки апарата.

6.2.2 Рекомендації, щодо експлуатації холодильника

До експлуатації апарат повинен пройти перевірку всіх витрат, на вході і на виході також перевіряється, тиск всередині апарата та в трубопроводах.

Результати випробувань апарату заносять в акт випробувань на конкретний апарат.

Апарат вважається прийнятим в експлуатацію після підписання акту з боку представників монтажною організацією та замовника.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідно виконувати огляд холодильника кожні 6 – 12 місяців для планово-попереджувального ремонту тривалістю 6 – 8 годин. Кожен рік необхідно зупиняти холодильник на 2 – 3 дня для проведення більш крупного ремонту.

Мета такого ремонту – своєчасним оглядом обладнання та заміною зношених деталей та вузлів попередити можливість поломки деталей, забезпечити безперебійну роботу обладнання та попередити його неприпустиме зношення. При планово – спопереджувальному ремонті огляд обладнання проводять у встановлені графіком строки. Деталі та окремі частини замінити в залежності від їх фактичного зносу. Кожні 5 років виконувати зупинку на 15—30 днів для капітального ремонту.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 Рівень стандартизації та уніфікації

7.1 Рівень стандартизації та уніфікації реактора

Під рівнем стандартизації та уніфікації виробу розуміється насичення їх відповідно стандартизованими та уніфікованими деталями. Рівень стандартизації та уніфікації оцінюється коефіцієнтами стандартизації та уніфікації.

Метою розрахунку, є визначити коефіцієнт уніфікації і стандартизації апарату.

Коефіцієнт стандартизації визначаємо із залежності [28]:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{240}{280} = 0,857,$$

де n_c – кількість стандартних деталей в апараті, $n_c = 240$, N – загальна кількість деталей в апараті, $N = 280$.

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} = \frac{240 + 30}{280} = 0,964,$$

де n_z – кількість уніфікованих деталей в апараті, $n_z = 30$,

Висновок: отримані коефіцієнти стандартизації та уніфікації показують, що апарат є достатньо уніфікованим і стандартизованим, тому ремонтні роботи не потребують додаткових затрат.

7.2 Рівень стандартизації та уніфікації холодильника

Використання стандартів сприяє поліпшенню якості продукції, підвищенню рівня уніфікації взаємозамінності та розвитку автоматизації, також виробничих процесів, росту ефективності експлуатації і ремонту виробів.

Коефіцієнт стандартизації – відношення кількості стандартних деталей до загальної кількості усіх деталей.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівень уніфікації визначається відношенням кількості запозичених і стандартних деталей до загальної кількості деталей.

Метою розрахунку, є визначити коефіцієнт уніфікації і стандартизації апарату.

Коефіцієнт стандартизації визначаємо із залежності [28]:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{320}{360} = 0,888,$$

де n_c – кількість стандартних деталей в апараті, $n_c = 320$, N – загальна кількість деталей в апараті, $N = 360$.

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} = \frac{320 + 20}{360} = 0,944,$$

де n_z – кількість уніфікованих деталей в апараті, $n_z = 20$,

Висновок. Розраховані значення коефіцієнтів стандартизації та уніфікації підтверджують, що під час проектування за основу було обрано холодильник нормалізованої конструкції.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Розроблення стартап - проекту

8.1. Опис ідеї проекту

В даному стартап-проекті, покладена ідея по модернізації реакторного блоку.

Реактор – це апарат, в якому протікає основний процес хімічної технології – утворення нового продукту в результаті важкої взаємодії вихідних матеріалів.

Суть модернізації реакторного блоку полягає в тому що, було змінено спосіб подачі реагенту з радіального на тангенційне, шляхом зміни положення штуцера та модернізації кришки. Внаслідок чого зменшується гідравлічний опір в реакторному блоці, і це дозволить суттєво зменшити витрати на електроенергію за рахунок установки менш потужного насоса.

У таблиці 8.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 8. 1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Модернізація реакторного блоку	Аграрна промисловість. Фармацевтична промисловість Хімічна промисловості. Нафтопереробні заводи.	Здешевлення вартості на готову продукцію. Зменшення витрат на електроенергію.

Для визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик. Порівняння буде проводитись з фірмами які працюють в спорідненій галузі. Найбільш відомі є SEA та Промвіт, таблиця 8.2.

Таблиця 8.2. - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	SEA Промвіт			
Енерго- та ресурсо збереження	Завдяки підвищенню ефективності використання модернізованого реактора дозволяє зберігати енергію та ресурси.	Використовується застарілого обладнання	-	-	+
Адаптованість продукту на суміжні ринки	Модернізований реактор можна адаптувати під різні галузі промисловості.	Обладнання заточено під один напрям в галузі промисловості.	-	-	+
Інноваційність технології	Впровадження модернізації входів в реакторі не було застосовано раніше	Використовується стандартних входів в реактор	-	-	+

Об'єднані клітинки для обох конкурентів є спільні їх ознаки.

Визначений перелік слабких (невідоме «ім'я» підприємства; недостатній рівень фінансування; висока конкуренція на ринку; зменшення кількості можливих

постачальників в умовах кризи) , сильних (високий інтелектуальний потенціал компанії; інноваційність технології; високий рівень енергозбереження та ресурсозбереження загалом; адаптованість продукту на суміжні ринки; можливість виходу на закордонний ринок) характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Гранулятор забезпечує стійке протікання процесу зневоднення рідких композитних систем в псевдозрідженому шарі, одержання готового продукту заданого фракційного складу та розміру, оперативне керування процесом, зміну необхідних експериментальних величин і технологічних параметрів процесу.

Опис технологічного процесу регенерації мембранних модулів з наведено в пункті 8.1.

Таблиця 8.2 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Енерго- та ресурсо збереження	Використання нового і енергоефективного обладнання	Дані технології існують. В доробці їх є необхідності.	Дані технології знаходяться відкритому доступі.

Проаналізувавши технологічну здійсненність проекту можна зробити висновок, що проект можна реалізувати. Для реалізації проекту обрано технологію регенерації мембранних модулів гідродинамічним методом зважаючи на необхідність цих методів в доробці.

8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Для цього спочатку проводився аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку, таблиця 8.4.

Середня норма рентабельності в галузі 30% вища ніж середній банківський відсоток на вкладення 20%. За попереднім оцінюванням можна бачити, що ринок є привабливим для входження [28].

Таблиця 8.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од	4
Загальний обсяг продаж, млн грн	10,8
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Фінансові, особистісні, цінові, специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	30

Визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи, таблиця 8.5.

Таблиця 8.5-Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Економія завдяки можливості енерго- та ресурсо збереження.	Підприємства, що займаються в хімічній, фармацевтичній і нафтовій промисловості	Потенційна група клієнтів одна, тому відмінностей немає.	-енерго- та ресурсо збереження; - якість (збільшується об'єм каталізатора, прои цьому апарат довше працює); - ціна.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводився аналіз ринкового середовища: складено таблиці факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту, таблиця 8.6, та факторів, що йому сприяють таблиця 8.7. Фактори в таблицях подано в порядку зменшення значущості [28].

Таблиця 8.6 - Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Поява нових конкурентів	Рівень інноваційності нових конкурентів перевищить рівень інноваційності компанії.	Моніторинг ринку, спроби технологічно випереджувати конкурентів.
Політичні конфлікти між країнами.	Може вплинути на продаж послуги.	Зміна напрямків роботи .
Політико-правові "Закон України про підприємницьку діяльність ".	Недостатня підтримка державою нових підприємців. Дорога вартість ліцензії, заборона на діяльність без ліцензії.	Відповідність вимогам законодавства України та країн з якими ведеться співпраця.
Соціо-культурні: Консервативність поглядів поживачів.	Небажання споживачів використовувати інноваційні рішення	Роз'яснення споживачам, що модернізація реакторного блоку веде до підвищення ефективності використання

Таблиця 8.7 - Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Науково-технічний прогрес	Поява нових технологій, які забезпечують енерго- та ресурсо збереження.	Розробка нового обладнання та технології. Впровадження даної технології та декларування власної ціни на дану пропозицію
Демографічні: Зростання населення	Збільшення попиту на модернізований апарат	Збільшення числа клієнтів в майбутньому
Соціально-культурні: Консервативність поглядів споживачів	Небажання споживачів використовувати нові технології	Пояснення споживачам, що пропоновані послуги зможуть підвищити ефективність використання модернізованого реактора

Було сформовано можливу реакцію компанії появи нових загроз та можливостей. Після чого проводився аналіз пропозиції: визначалися загальні риси конкуренції на ринку, таблиця 8.8.

Таблиця 8.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	2	3
1. Тип конкуренції : Монополістична конкуренція	Є безліч компаній, що надають різноманітні послуги і що конкурують між собою. Вхідні і вихідні бар'єри існують, але невисокі. Послуги кожного виробника відрізняються якимись особливостями.	Створення послуг під замовлення.
2. За рівнем конкурентної боротьби: Національна	Створення чогось нового	Створення унікального технології

1	2	3
3. За галузевою ознакою: Міжгалузева	Конкуренція за більш вигідні умови	Удосконалення структури послуг відповідно до потреб.
4. Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	Зосередження конкурентоспромож- ності на якості послуг	Постійний моніторинг ринку щодо появи технологій замінників.
5. За характером конкурентних переваг: Цінова	Головним засобом боротьби є ціна	Зменшення ціни (за рахунок зменшення витрат).
6. За інтенсивністю: не марочна	Репутація проекту	Створення високого рівня ділової репутації, що сприятиме впізнаваності стартапу

8.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера, таблиця 8.9).

Таблиця 8.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	1	2	3	4	5
	SEA , Промвіт .	Основні бар'єри входження на ринок: ефект масштабу великих компаній, недостатність інвестицій, обмежена можливість науково-дослідницьких та досвідно-конструкторських робіт	Існує загроза інтегрування постачальників в бізнес (відома подібна практика закордоном)	Цінова чутливість покупців. Прихильність до відомих брендів. Негативне ставлення до інновацій	Інші фірми виробляють схожу продукцію. Але на даний момент аналогів по показникам продуктивності немає

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

	1	2	3	4	5
Висновки:	Основна перевага – досвід, відоме ім'я. Але, за рахунок інновацій, тісного контакту з клієнтом можна заробити імідж та отримати клієнтів.	Можливість входу на ринок існує. Потенційними конкурентами можуть стати схожі підприємства-новатори.	Постачальники загалом не диктують умови. На даний момент існує велика низка можливих постачальників. Наш продукт є доволі адаптовним для видозмінених компонентів.	Диктують умови на ринку: якщо співвідношення ціна/якість буде не співмірним, можуть відмовитися від продукту, оскільки є з чого вибрати.	Мінімальне обмеження через товари-замінники.

Можна зробити висновок, що для того щоб проект був конкурентоспроможним на ринку він повинен бути інноваційним та малозатратним щоб подолати всі бар'єри на стадії розвитку. Та з огляду на конкурентну ситуацію на ринку, доведено потенційні можливості існування стартапу.

На основі аналізу конкуренції, таблиця 8.9, а також із урахуванням вимог споживачів до товару, таблиця 8.5, та факторів маркетингового середовища, таблиці 8.6-8.7, визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності [28], таблиця 8.10.

Таблиця 8.10. - Фактори конкурентоспроможності проекту

Ефективність регенерації	Ефективність полягає в використанні мембран декілька разів без втрати якості води
Сервісне обслуговування	Акцент на подальшій співпраці з існуючим клієнтами.
Низька ціна	Зменшення вартості надання послуг шляхом зниження енергозатрат.
Екологічність	Безвідходне виробництво

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 8.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 8.11).

Таблиця 8.11. - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «ReEngineering»						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Ціна	18			S, П				
Інноваційність технології	20	S, П		П				
Енерго- та ресурсозбереження	15		S, П	П				
Адаптованість продукту на суміжні ринки	15			S, П			П	
Можливість виходу на закордонний ринок	10			S, П				П

SEA (S), Промвіт (П) .

Сильні сторони проекту: якість регенерації; відносно великий асортимент послуг, що надаються; універсальність застосування модернізованого обладнання

Слабкі сторони проекту: необхідність купівлі імпоротної установки.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities)), таблиця 8.12, на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін, таблиця 8.12 [28].

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 8.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

<p><i>Сильні сторони:</i></p> <p>1. Унікальність технології</p> <p>2. Енергоефективність. робота за вільним графіком працівників</p> <p>3. Ефективність модернізованого апарата</p> <p>4. Робота за вільним графіком працівників</p> <p>5. Якість продукції, за рахунок збільшення об'єму каталізатора;</p> <p>6. Відносно великий асортимент послуг, що надаються;</p> <p>7. Універсальність застосування модернізованого обладнання</p>	<p><i>Слабкі сторони:</i></p> <p>1. Малий досвід роботи на ринку</p> <p>2. Низька дохідність проекту.</p> <p>3. Необхідність купівлі імпортової установки</p>					
<p><i>Можливості</i></p> <p>1. Створення нових технологій регенерації</p> <p>2. Залучення до співпраці фахівців в інженерії</p> <p>3. Модернізація та проектування нового обладнання</p>	<p><i>Загрози</i></p> <p>1. Поява нових конкурентів</p> <p>2. Політичні конфлікти між країнами</p> <p>3. Вимушена модернізація виробництва</p>					
	Можливості			Загрози		
Сильні сторони	-	+	-	+	-	+
	+	+	-	+	-	-
	+	+	-	-	-	+
Слабкі сторони	+	-	-	+	+	-
	-	+	-	-	+	-
	-	-	+	-	-	-

За даним дослідженням в нас посилення сильних сторін за рахунок можливостей.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 8.13).

Таблиця 8.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Загарбник	Значні	Максимум рік
Наступник	Суттєві	Максимум рік

Після аналізу обираємо альтернативу Загарбник. Тому, що в короткий термін можемо реалізуватись і активно просувати товар на ринку.

8.5 Розроблення ринкової стратегії ринку

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, таблиця 8.14, [28].

Таблиця 8.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсив ність конкурен ції в сегменті	Простота входу у сегмент
Підприємства, хімічної, нафтоперероб ної, фармацевтич ної промисловост і	Визначатиметь ся готовністю підприємства піти на додаткові витрати пов'язані з впровадженням ідеї проекту.	Залежатиме від рівня, темпів розвитку економіки і галузей – споживачів зокрема, а також рівня і характеру підтримки іноваційного підприємства зі сторони держави	Середня	Високі бар'єри входу на ринок
Обрано наступні цільові групи: підприємства, хімічної, нафтопереробної, фармацевтичної промисловості.				

За результатами аналізу профілю групи споживачів, було визначено цільові групи, таблиця 8.14, для яких пропонується стратегія диференційованого маркетингу [28].

Для роботи в обраних сегментах ринку було сформовано базову стратегію розвитку, таблиця 8.15, [28].

Таблиця 8.15 - Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Ринкове позиціонування.	Диференціація структури маркетингу.	Передбачає надання послуг важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять послугу відмінною від послуг конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях послуг, бути реальною або уявною.	Стратегія диференціації

Отже, для роботи в обраних сегментах ринку було обрано стратегію диференціації, яка дозволяє компанії домогтись більшої рентабельності за рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.16, [28].

Таблиця 5.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Передбачається розвиток ринку	Ні	Стратегія наслідування лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, таблиця 8.4, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку, таблиця 8.14, та стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.15, розроблено стратегію позиціонування, таблиця 5.16, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельний проект [28].

Таблиця 8.16 - Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту
Підвищення ефективності, енергоефективності.	Стратегія диференціації	Ефективність, енергоефективність.

В результаті виконання даного підрозділу було узгоджено систему рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначає напрям роботи стартап-компанії на ринку.

8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.17 підсумовано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [28].

Таблиця 8.17 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Підвищення збереження енергоресурсів	Енергоефективність.	Енергоефективність, екологічність

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару.

Таблиця 8.18 - Опис трьох рівнів моделі товару

Обрана альтернатива розвитку проекту	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	покращення якості готового продукту – спірального теплообмінника; зменшення витрат енергетичних, матеріальних та людських ресурсів на виробництво.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Модернізований спіральний теплообмінник Надійність Енерго- та ресурсозбереження Доступна ціна Інноваційність технології	–	Можна встановити на будь-якому зручному місці, заздалегідь підготовленому, для обслуговуючого персоналу. Захищені від потрапляння води та інших речовин, компоненти.
	Якість: відповідає Європейським нормам та ДСТУ. Тестування проводиться перед встановленням, а також на місці.		
	Пакування –пакування із спеціальними захисними матеріалами для уникання деформацій чи пошкоджень		
	Марка: «ReEngineering»		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: • програми лояльності при підписанні довготривалого контракту; • різні способи доставки; • різні способи оплати; • демонстрації та моделювання роботи		
	Після продажу: • впровадження; • обслуговування; • супровід; • навчання персоналу; • гарантія повернення грошей і обміну товару.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання:буде розроблено патент на винахід, на кожному апараті буде фірмовий штамп.			

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 8.19). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 8.19. Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари - аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
110-250 тис. грн	немає	120-170 тис. грн	Верхня: 160 тис.грн Нижня: 110 тис.грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 8. 20).

Таблиця 8.20 - Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Клієнти хочуть на власні очі бачити обладнання та його тестування перед закупівлею, потребують доставки, встановлення, консультацій, супроводу	Гарантія Тестування Доставка Ремонт Допомога введення у експлуатацію Допомога при запуску	Нульовий рівень. Наша компанія сама встановлює і проектує обладнання. До споживача доходить продукція з усіма необхідними компонентами.	Власна система збуту і домовленість про подальшу співпрацю

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що ми будемо проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту).

Останньою і основною складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів, таблиця 8.21, [28].

Таблиця 8.21 - Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Орієнтована на швидке та ефективне спілкування, бажано спеціалізоване	Спілкування як онлайн (сайти, соц.мережі) так і офлайн (зустрічі, телефонні розмови, виставки тощо). Друкована продукція (каталоги, спецвидання). Документальне оформлення домовленостей	Продаємо якісний товар; Тривале партнерство = лояльні ціни; Вчасно, ефективно і економно.	Ефективна демонстрація переваг продукції залежно від напрямку зацікавленості клієнта	Офіційний стиль. Наочна демонстрація даних (розрахунки, графіки, діаграми). Призначення зустрічей.

Результатом останнього пункту має стати ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

8.7 Висновки

Визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик з аналогічними апаратами найбільш популярних торгових марок, що дозволило нам зробити попередні висновки щодо доцільності реалізації даного проекту;

Обрано стратегію посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей, так як імовірність отримання ресурсів найбільша, а строк реалізації найменший;

Наявність попиту, що визначається потребою підвищення ефективності, енергоефективності, свідчить про можливість ринкової комерціалізації проекту;

Маркетингові дослідження обраного сегменту ринку, оцінки рівня та динаміки конкуренції в базовій та спорідненій галузях, дозволяють стверджувати про перспективи створення та розвитку стартап-проекту.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

У магістерській дисертації за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки на тему "Модернізація реакторного блоку установки виробництва базових компонентів синтез-бензину з розробкою реактора та холодильника" було модернізовано установку риформінгу. Модернізація полягає в заміні патрубку вводу на тангенційний, що покращує умови масообміну та зменшує гідравлічний опір апарату, та зміні конструкції вузла відведення конденсату.

Описано технологічну схему, проведено вибір типів апаратів, описано їх конструкцію, виконано порівняння з аналогами та патенту проробку. Виконано параметричний розрахунки, та розрахунки основних вузлів і елементів на міцність.

Виконано параметричний багатоваріантний розрахунок реактора та обрано конструкцію, що забезпечує найбільшу продуктивність при найменших капітальних та експлуатаційних витратах, та розрахунки основних вузлів і елементів на міцність. Виконано параметричний розрахунок холодильника.

Перевірили конструкції реактора та холодильника, на відповідність вимогам безпеки праці та промислової санітарії. Розроблено стартап-проект впровадження запропонованої модернізації. Розроблено систему автоматичного регулювання параметрів установки риформінгу, що дозволяє покращити якість продукції та підвищити безпеку експлуатації установки. Розроблено технологічний процес виготовлення перфарованої труби, спроектовано пристрій для свердління отворів. Виконано 8 креслень та два плакату формату А1.

За результатами дисертаційної роботи отримано 1 деклараційний патент України на корисну модель, результати оприлюднено на 3 міжнародних конференціях, та опубліковано статтю у фаховому журналі.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вывод

В магистерской диссертации по образовательно-профессиональной программе магистерской подготовки на тему "Модернизация реакторного блока установки производства базовых компонентов синтез-бензина с разработкой реактора и холодильника" было модернизировано установку риформингу. Модернизация заключается в замене патрубка ввода на тангенциальный, что улучшает условия массообмена и уменьшает гидравлическое сопротивление аппарата, при изменении конструкции узла отвода конденсата.

Описано технологическую схему, проведен выбор типов аппаратов, описаны их конструкция, выполнено сравнение с аналогами и патента проработки. Выполнено параметрический расчет, и расчеты основных узлов и элементов прочности.

Выполнено параметрический многонаправленный расчет реактора и выбранной конструкции, которая обеспечивает наибольшую производительность при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах, а также расчетов основных узлов и элементов прочности. Выполнено параметрический расчет холодильника.

Проверили конструкции реактора и холодильника, отвечающих требованиям безопасности труда и промышленной санитарии. Разработан стартап-проект в производство предлагаемой модернизации. Разработана система автоматического регулирования параметров установки риформинга, что позволяет улучшить качество продукции и повысить безопасность эксплуатации установки. Разработан технологический процесс изготовления перфорированной трубы, спроектировано устройство для сверления отверстий. Выполнено 8 чертежей и два плаката формата А1.

По результатам диссертационной работы получено 1 декларационный патент Украины на полезную модель, результаты опрелюднено на 3 международных конференциях и опубликована статья в фаховому журнале.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Conclusion

In the Master's thesis on the theme "Modernization of plant reactor unit for production of gasoline synthesis basic components with development of reactor and refrigerator", the installation of reforming was modernized. The modernization consists of replacing the inlet pipe on the tangential, which improves the conditions of mass transfer and reduces the hydraulic resistance of the apparatus and changes the design of the condensate drainage unit.

The technological scheme is described, the choice of devices is carried out, their design is described, the comparison with the analogues and the patent of processing is made. The parametric calculation, calculations of the basic units and elements of durability are executed.

A parametric multi-directional calculation of the reactor and selected design, which provides the highest productivity at the lowest capital and operating costs, as well as calculations of the main units and strength elements are performed. The parametric calculation of the refrigerator is executed.

The designs of the reactor and refrigerator that meet the requirements of safety and industrial sanitation are checked. A startup project has been developed to implement the proposed upgrade. The system of automatic control of the parameters of the reforming installation is developed, allowing to improve the quality of products and increase the safety of plant's operation. A technological process for of perforated pipes manufacturing has been developed, a device for drilling holes has been designed. 8 drawings and two posters of A1 format are executed.

Based on the findings of the Master's thesis, 1 Declarative patent of Ukraine has been obtained on a useful model, the results have been presented at 3 international conferences, the article in the professional journal has been published.

					ЛН71мн.066632.001 ПЗ	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Справочник нефтепереработчика: Справочник/Под ред. Г.А. Ластовкина , Е.Д. Радченко и М.Г. Рудина. – Л.: Химия, 1986.
2. Реактори [Електронний ресурс]. – Назва з екрану. – Дата доступу 07.08.2018.–Режимдоступу:
http://www.nbuu.gov.ua/old_jrnjrn/chem_biol/khphttp/2012_3/15.pdf
3. Холодильні апарати [Електронний ресурс]. – Назва з екрану. – Дата доступу 07.08.2018. – Режим доступу: <http://chem21.info/info/905136/>
4. Сталі [Електронний ресурс]. – Назва з екрану. – Дата доступу 07.01.2017.–Режимдоступу: <https://www.metaldatabase.info/rus/exportgrade.htm>
5. Патент UA 113839 U, МПК B01J 19/24, B01J 12/00, C10L 3/10 Реактор./ Фурс Олександр Володимирович, Степанюк Андрій Романович.
6. Патент RU169758U1, Реактор радиального типа для каталитического дегидрирования углеводородов/ Александр Сергеевич Кондратьев, Марат Ринатович Смаков, Владимир Александрович Будник.
7. Патент EP3219384A1. Walls for catalytic beds of radial- or axial-flow reactors/ Ermanno Filippi, Enrico Rizzi, Mirco Tarozzo (US).
8. Патент RU182042U1, Реактор полимеризации/ Александр Александрович Никитин, Олег Сергеевич Михайлов.
9. Патент RU2643976C1, Реактор для проведения реакций гидролиза/ Николай Михайлович Добрынкин, Марина Валерьевна Батыгина, Александр Степанович Носков.
10. Patent WO2017185198A1; Air cooler, air cooling island and operation method for air cooling.
11. Patent KR101813860B1; Arrangement for charge air cooling; Inventor: Peter Colard, Pryazha Martin, Sofak Milan, Key Tri.
12. Patent US3628590A; Air cooler having multiple cooling coils; Inventor: George R, Knebusch.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						123
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Patent US20170276058A1; Charge air cooler; Inventor: Kevin BOCKSTANZ, Dwayne Robert Taylor.

14. Patent KR101670991B1; Charge air cooler; Inventor: Sofak Milan, Key Tri.

15. Кузнецов А.А, Кагерманов С.М, Судаков Е.И. Расчет процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. Изд.2. «Химия», 1974.

16. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Лашинский А. А. Толчинский А. Р., – Л., «Машиностроение», 1970., - 752 стр.

17. Мікульонок І.О. Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних виробництв. Навч. посібник. – НАУК ДУМКА, 1999 – 152 с.

18. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты для химической технологии: пособ. по проект. / Ю. И. Дытнерский, Г. С. Борисов, В. П. Брыков. 2-е изд., перераб. и дополн. — М. : Химия, 1991 — 496 с.

19. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. — Л. : Химия, 1987. — 576 с.

20. Адельсон С.В. Процессы и аппараты нефтепереработки и нефтахимии. — М.: ГОСТОПТЕХИЗДАТ – 1963. – 310 с.

21. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1981. – 812 с.

22. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: ГУМ, - 1961. – 830 с.

23. Федотиков А.П. Краткий справочник технолога-машиностроителя. М.: ОБОРОНГИЗ, - 1960. – 402 с.

24. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів хіміко – машинобудівельної спеціальності / Уклад. Розенплентер А.Е., Панішева Т.В. – К.: КПІ, 2001. – 27 с

25. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроение. Справочник технолога. М.: Машиностроение, - 1976. – 288 с.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / под. ред. А.Ф. Горбачевича. – Минск: Вышэйш. шк., 1975. – 287 с.

27. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. Справочник. – М.: Машиностроение, 1979. – 383 с.

28. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие. Изд. 3-е, перераб. и доп. Под ред. Б.Т. Кошарского. –Л.: Машиностроение (ленинград. отделение), 1976. – 488 с.

29. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

30. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.

31. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

32. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						125
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

33. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>

34. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.

35. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа : http://futurolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml.

36. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа : http://futurolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml.

37. Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступа : <http://futurolog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.

Додаток А

Зміст

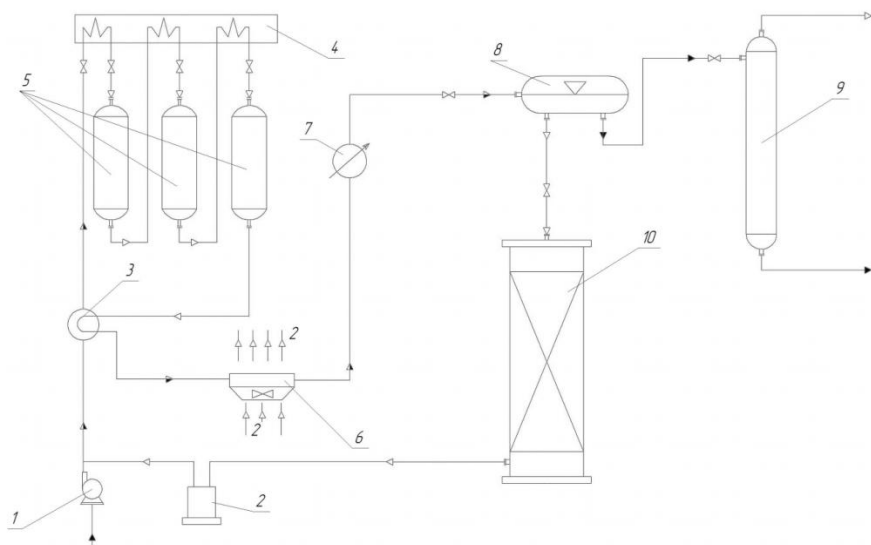
А.1 Опис технологічного процесу, як процесу автоматизації.....	128
А.2 Основні рішення з автоматизації.....	130
А.2.1 Системи контролю	130
А.2.2 Автоматичне регулювання	131
А.2.3 Технологічна сигналізація та захист	131
Перелік приладів автоматизації.....	132
Перелік посилань.....	133

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						127
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

A.1 Опис технологічного процесу, як процесу автоматизації

Каталітичний риформінг призначений для підвищення детонаційної стійкості бензинів і отримання ароматичних вуглеводнів, головним чином бензолу, толуолу і ксилолів. Також важливим продуктом є газ з вмістом водню, котрий широко використовується в процесах гідро очистки нафтових дистилатів.

Найбільшого поширення отримала установка риформінгу з стаціонарним шаром каталізатору, де умови процесу обрані таким чином, щоб забезпечити тривалість сировинного, межрегенераційного циклу 0,5 – 1 рік і більше. Окислювальна регенерація каталізатора проводиться одночасно у всіх реакторах. Загальна тривалість простоїв установок подібного типу 20 – 40 діб на рік, включаючи регенерацію каталізатора і ремонт обладнання. Технологічна схема установки наведена на рис. А.1.



1 – насос для сировини, 2 – компресор, 3 – теплообмінник, 4 – багатоканальна піч, 5 – реактори, 6 – повітряний холодильник, 7 – водний холодильник,

8 – сепаратор, 9 – стабілізаційна колона, 10 – адсорбер для осушення циркуляційного газу; 11 – теплообмінник попереднього підігріву.

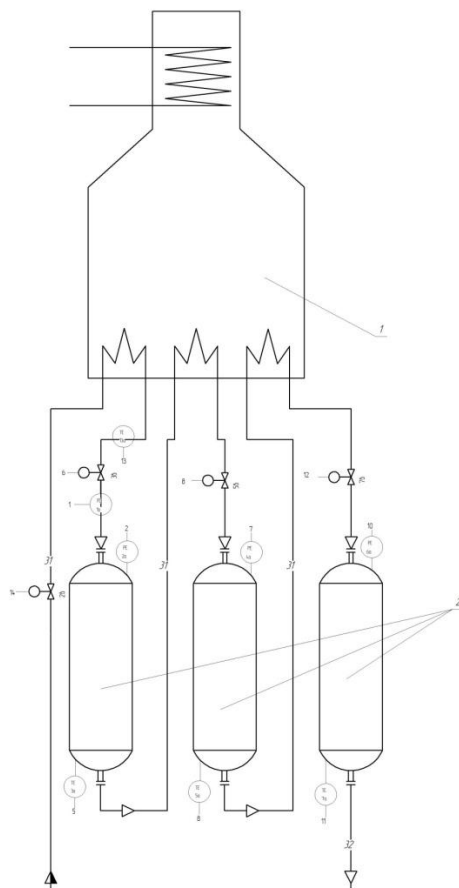
Рисунок А.1 – Технологічна схема установки каталітичного риформінгу

Відчищена та осушена на блоці гідроочищення сировина змішується з циркулюючим газом з вмістом водню, підігрівається в теплообміннику 3 і печі 4 і надходить в реактор першої ступені. На блоці риформінгу є три-чотири адіабатичних реактора і відповідне число печей для між ступеневого перегріву продуктів реакції.

По виходу з останнього реактора газопродуктова суміш охолоджується до $20 - 40^{\circ}\text{C}$ і після сепарації газу з вмістом водню, основна частина надходить на прийом циркуляційного компресора 2, а надлишок виводиться на блок попередньої гідроочищення бензину або передається іншим споживачам.

Каталізатор з розчиненими вуглеводневими газами подається на стабілізацію 9 (секція включає від однієї до чотирьох колон), де продукти реакції поділяються на каталізатор із заданим тиском парів, скраплений газ та сухий вуглеводневий газ.

Для розроблення схеми автоматизації вибрано блок каталітичного риформінгу.



					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		129

1 – багатокамерна піч, 2 – реактори

Рисунок А.2 – Схема автоматизації установки каталітичного риформінгу

Параметри що підлягають автоматизації та їх основні характеристики наведено в таблиці А.1 за[31].

Таблиця А.1 – Параметри регулювання та контролю процесу

Найменування лінії, місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до рівня автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація, аварійний захист)
На вході в 3-й реактор	Витрати суміші	300000 т/рік	Контроль, індикація, реєстрація, архівування.
В реакторах	Тиск	3,43 МПа	Контроль, індикація, реєстрація, архівування, захист, блокування, регулювання.
В реакторах	Температура	763 ± 10 К	Контроль, реєстрація, архівування, регулювання.

А.2 Основні рішення з автоматизації

А.2.1 Системи контролю

Функціональна схема автоматизації установки риформінгу включає в себе системи контролю таких параметрів:

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						130
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для контролю процесів, які відбуваються в реакторах 5, використовуємо такі технічні засоби, як:

Позиція 1а - перетворювач витрат вимірювальний електромагнітний.
Позиції: 3а, 5а, 7а – термоелектричні перетворювачі. Позиції 2а, 4а, 6а - перетворювачі тиску.

А.2.2 Автоматичне регулювання

Функціональна схема автоматизації установки каталітичного риформінгу включає в себе автоматичне керування витрат, рівня та температури.

Для регулювання та керування процесом, який виконується в реакторах 5, використовуємо такі технічні засоби, як:

Позиції 3а, 5а, 7а - термоелектричний перетворювач.

Мікроконтролер.

Позиція 2а – перетворювач тиску з електромеханічним перетворювачем.

А.2.3 Технологічна сигналізація та захист

Технологічна сигналізація у процесі каталітичного риформінгу встановлена на контроль параметрів: температура, вхідні витрати та тиск в реакторі , температура вихідної сировини в реакторах.

Захист

Блокування можуть спрацьовувати в декількох випадках:

1. Тиск в трубопроводі на виході насосів перевищує норму.
2. Температура перевищує допустиму норму.

Захист спрацьовує коли:

Тиск в першому реакторі перевищує норму, блок захисту відсилає керуючий сигнал на магнітний пускач, який перекриває відсічний клапан.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						131
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура в трубопроводі стабільного каталізатору після колони перевищує норму, блок захисту відсилає керуючий сигнал на магнітний пускач, який перекриває відсічний клапан .

Перелік приладів автоматизації.

№ позиції на схемі	Найменування параметра	Місце встановлення	Найменування та характеристика	Кількість
1а	Витрати	По місцю	Перетворювач витрат	1
3а 5а 7а	Температура	По місцю	Термоелектричний перетворювач	3
2а 4а 6а	Тиск	По місцю	перетворювач тиску	3
SB2 ... SB8	Індикація	Щит керування	Пост керування кнопкою	

Перелік посилань

1. Справочник нефтепереработчика: Справочник/Под ред. Г.А. Ластовкина, Е.Д. Радченко и М.Г. Рудина. – Л.: Химия, 1986.
2. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие. Изд. 3-е, перераб. и доп. Под ред. Б.Т. Кошарского. –Л.: Машиностроение (ленинград. отделение), 1976. – 488 с.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						133
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Б.1 Аналіз службового призначення деталі і умов її роботи у вузлі апарату .	135
Б.2 Технологічний аналіз виготовлення деталі.....	135
Б.2.1 Вибір типу заготовки.....	135
Б.2.2 Аналіз технологічності конструкції деталі	136
Б.3 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі	136
Б.3.1 Розрахунок припусків на точіння чорнове $6152^{+0,5}$ розрахунково-аналітичним методом.....	136
Б.3.2. Розрахунок режимів різання для точіння чорнового $6152^{+0,5}$	138
Б.3.3 Розрахунок норм часу для точіння чорнового $6152^{+0,5}$	140
Б.4 Розрахунок режимів різання під час сверління	140
Б.5 Опис конструкції та розрахунок кондуктора для свердління отворів.....	142
Перелік посилань.....	145

Б.1 Аналіз службового призначення деталі і умов її роботи у вузлі апарату

В пропонованій конструкції реактора труба виконує функцію відводу реагенту.

Проаналізуємо умови роботи деталі. У зв'язку з тим, що середовище в реакторі вибухонебезпечне і токсичне. Враховуючи вищенаведене, можна дійти висновку, що розроблювана деталь працює в складних умовах. Даний факт обумовлює вимогу відсутності внутрішніх і зовнішніх дефектів в заготовці та в готовій деталі після механічної обробки.

Б.2 Технологічний аналіз виготовлення деталі

Б.2.1 Вибір типу заготовки

Труба виготовляється зі Сталь 20Х13 ГОСТ 5582–75, яка використовується для виробництва відповідальних деталей.

В машинобудуванні при виготовленні деталей в якості заготовок використовують виливки, штамповки, поковки, прокат і т.і. Основним при виборі заготовки являється забезпечення заданої якості готової деталі при її мінімальній собівартості. Вибір заготовки також зв'язаний з типом виробництва, геометричною формою деталі, її розмірами, технічними умовами на матеріал, трудомісткість.

Враховуючи вищевказані вимоги в якості заготовки для виготовлення труби вибираємо заготовку отриману вальцюванням листового прокату.

Ескіз заготовки труби показано на рисунку Б.1.

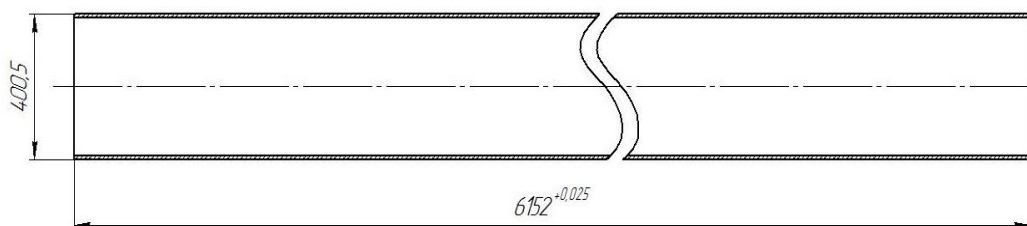


Рисунок Б.1- Ескіз заготовки

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		135

Б.2.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Матеріал деталі (Сталь 20Х13 ГОСТ 5582–75) має достатню пластичність для обробки тиском. Конструкція деталі дозволяє отримати штамп простої форми, з застосуванням високопродуктивного обладнання. Заготовка за формою та розмірами близька до форми та розмірів готової деталі, а це є ознакою технологічності.

Матеріал деталі добре піддається свердлінню з використанням стандартних режимів свердління - це технологічно.

Підвищена твердість матеріалу, також погіршує технологічність, - і механічну обробку деталі слід проводити на знижених режимах.

В іншому деталь складається з уніфікованих конструкційних елементів оптимального ступеню точності та шорсткості поверхні, що дозволяє використовувати високопродуктивне обладнання та стандартну оснастку при добрих технологічних базах, що забезпечують задану точність виготовлення труби.

Усі технологічні вимоги встановлені в залежності від службового призначення виробу та визначається ступенем точності деталі. В цілому деталь технологічна.

Б.3 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Б.3.1 Розрахунок припусків на точіння чорнове $6152^{+0,5}$ розрахунково-аналітичним методом

Визначення мінімального припуску при чорновому точінні:

$$2z_{i\min} = 2 \left[(R_z + h)_1 + \sqrt{\Delta_{\Sigma 1}^2 + \varepsilon_2^2} \right] = 2 \left[(200 + 200) + \sqrt{30^2 + 84^2} \right] = 860 \text{ мкм},$$

де R_{z1} - висота нерівностей профілю заготовки;

h_1 - глибина дефектного поверхневого шару заготовки;

$\Delta_{\Sigma 1}$ - сумарні відхилення розташування поверхні, $\Delta_{\Sigma} = 30 \text{ мкм}$ [33];

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						136
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varepsilon_2 = 84 \text{ MKM [33];}$$

Для прокату: $R_z = 200 \text{ мкм}$; $h = 200 \text{ мкм}$ [33].

Визначимо мінімальні розрахункові розміри:

після чорнового точіння $6152^{+0,2}$ мм;

Визначимо допуск на виготовлення для кожного переходу згідно [33].

Схема припусків позначена на рисунку Б.2.

$$T_{d_{3a2}} = 5000 \text{ MKM};$$

$$T_{d_{\text{top}}} = 1000 \text{ MKM};$$

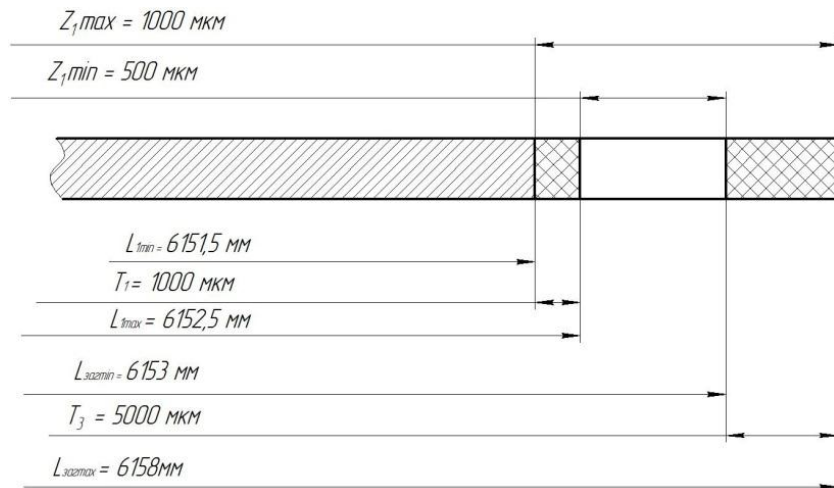


Рисунок Б.2 - Схема припусків

Визначимо граничні розміри:

після чорнового точіння:

$$L_{\min}=6153; \quad L_{\max}=6158$$

Визначимо межові значення припусків:

після чорнового точіння:

$$z_{\min}=6152-6152.5=0.5 \text{ mm};$$

$$z_{\max}=6153,5-6152.5=1 \text{ mm.}$$

Перевіримо правильність розрахунків:

$$z_{0\max} - z_{0\min} = T_{3a2} - T_{dem};$$

$$T_{3a2} - T_{dem} = 1 - 0,5 = 0,5 \text{ MM} ;$$

$$z_{0\max} - z_{0\min} = 1 - 0,5 = 0,5 \text{ мм};$$

Карта розрахунку припусків на обробку і граничних розмірів за технологічними переходами зазначено в таблиці А1.

Назва деталі – труба. Матеріал – Сталь 20Х13.

Елементарна поверхня для розрахунку припуску – **6153^{+0,5}**.

Таблиця Б1-Розрахунок припусків

Елементарна поверхня деталі і технологічний маршрут її обробки	Елементи припуску, Мкм				Розрахунковий припуск Z_{\min} , мкм	Розрахунковий мінімальний розмір, мм	Допуск на виготовлення T_d , мкм	Прийняті (скруглені) розміри по переходах, мм		Отримані граничні і припуски, мм	
	R_z	h	Δ	ε				L_{\max}	L_{\min}	Z_{\max}	Z_{\min}
Прокат	20 0	200	30	84	-	6153 _{+5,0}	5000	6153	6158	-	-
Точіння: Чорнове	10	15	-	-	860	6152 _{+1,0}	1000	6151.5	6155.5	1000	500

Б.3.2. Розрахунок режимів різання для точіння чорнового 6152^{+0,5}

Точимо начорно **6152^{+0,5}**. Оброблюваний матеріал сталь 20Х13 з границею міцності $\sigma_B = 380 \text{ МПа}$.

Вибираємо різець і його геометричні параметри: різець токарний прохідний з пластинами із твердого сплаву Т15К6.

Глибина різання $t = 0,177 \text{ мм}$.

Подача $S = 0,35 \text{ мм/об}$, згідно [33].

Швидкість різання знайдемо за формулою:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v = \frac{300}{50^{0,2} \cdot 0,177^{0,15} \cdot 0,35^{0,35}} \cdot 0,651 = 167,2 \text{ м/хв},$$

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
						138
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де значення коефіцієнту $C_v = 300$ і показників степені $x = 0,15$, $y = 0,35$, $m = 0,2$ взяті із [31];

$T = 50$ хв - стійкість при одноінструментній обробці;

$K_v = 0,651$ - коефіцієнт, який являється добутком наступних коефіцієнтів [31];

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{uv} = 1,252 \cdot 0,8 \cdot 0,65 = 0,651,$$

$$\text{де } K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1 \left(\frac{750}{550} \right)^{1,25} = 1,252,$$

$$K_{nv} = 0,8; K_{uv} = 0,65; n_v = 1,25$$

Частота обертів шпинделя:

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 167,2}{3,14 \cdot 400} = 502,4, \text{ об/хв.}$$

Приймаємо токарно-гвинторізний станок 16Б05П:

$$n = 30 - 3000 \text{ об/хв}, S = 0,02 - 0,35 \text{ мм/об}, N_{\text{ел}} = 1,5 \text{ кВт}.$$

Приймаємо дійсне значення частоти обертів шпинделя: $n_d = 503 \text{ об/хв}.$

Тоді дійсне значення швидкості різання рівне:

$$v_o = \frac{\pi D n_d}{1000} = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 503}{1000} = 167,4 \text{ м/хв}.$$

Силу різання розраховуємо за формулою:

$$P_z = 10 C_p t^x S^y v_o K_p = 10 \cdot 300 \cdot 0,86^1 \cdot 0,35^{0,75} \cdot 167,4^{-0,15} \cdot 0,704 = 383,4 \text{ Н}$$

$$\text{де } K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^{0,75} = \left(\frac{550}{750} \right)^{0,75} = 0,792,$$

$$K_{\phi p} = 1; K_{\gamma p} = 1,1; K_{\lambda p} = 0,93; K_{rp} = 0,87.$$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,792 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,93 \cdot 0,87 = 0,704$$

Потужність різання рівна:

$$N = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60} = \frac{383,4 \cdot 167,4}{1020 \cdot 60} = 1,15 \text{ кВт}$$

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		139

Остаточно приймаємо для точіння чорнового 6152^{+0,5}:

$$t = 0,177 \text{ мм}, S = 0,35 \text{ мм/об}, \nu = 167,4 \text{ м/хв}, n_d = 503 \text{ об/хв}, N = 1,15 \text{ кВт}$$

Б.3.3 Розрахунок норм часу для точіння чорнового 6152^{+0,5}

Розрахуємо операційний час за формулою:

$$T_{\text{опер}} = T_{\text{осн}} + T_{\text{доп}} = 2,73 + 0,89 = 3,62 \text{ хв},$$

де $T_{\text{осн}}$ - основний час, рівний:

$$T_{\text{осн}} = \frac{L}{S} = \frac{l + l_{\text{вр}} + l_{\text{пер}}}{S_0 n_0} = \frac{300 + 3 + 0}{0,35 \cdot 503} = 2,73 \text{ хв},$$

$l = 300 \text{ мм}$ - довжина поверхні, що оброблюється;

$l_{\text{вр}} = 3 \text{ мм}$ - довжина зони врізання;

$l_{\text{пер}} = 0$;

$T_{\text{доп}} = 0,89 \text{ хв}$ - допоміжний час, розраховується як сума наступних складових:

очищення пристосування від стружки – 0,09 хв;

установка і зняття заготовки – 0,15 хв;

закріпити і розблокувати заготовку – 0,05 хв;

час, зв'язаний з виконанням переходу – 0,6 хв.

Б.4 Розрахунок режимів різання під час сверління

Мета роботи: навчитися розраховувати найбільш оптимальні режими різання під час свердління по аналітичним формулам.

Попередньо сверлимо меншими діаметрами.

Глибина різання t , мм. Під час свердління глибина різання $t = 15 \text{ мм}$, при розсвердлюванні, зенкуванні і розгортання $t = 0,5(D-d) = 0,5 \cdot (100-70) = 15 \text{ мм}$, де d – початковий діаметр отвору; D - діаметр отвору після обробки.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						140
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подача s , мм/об. Під час свердління отворів без обмежуючих факторів вибираємо максимально допустиму по міцності свердла подачу (табл. 24).

При розсвердлюванні отворів подача, рекомендована для свердління, може бути збільшена до 2 разів. Її визначають множенням табличного значення подачі на відповідний поправочний коефіцієнт, наведений у примітці до таблиці. Отримані значення коригуємо за паспортом верстата (додаток 3).

Швидкість різання v_p , м/хв. Швидкість різання під час свердління

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v = \frac{300}{50^{0,2} \cdot 0,177^{0,15} \cdot 0,35^{0,35}} \cdot 0,651 = 167,2 \text{ м/хв}$$

$$v_p = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v = \frac{3,5 \cdot 100^{0,5}}{40^{0,12} \cdot 0,58^{0,45}} \cdot 1 = 2,87 \text{ м/хв}$$

Значення коефіцієнтів C_v і показників ступеня m , x , y , q наведені для свердління в табл. 27, для розсвердлювання, зенкерування і розгортання – в табл. 28, а значення періоду стійкості T – табл. 30.

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання,

$$K_v = K_{mv} K_{uv} K_{lv} = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,$$

де K_{mv} – коефіцієнт на оброблюваний матеріал і $K_{mv} = 1$

K_{uv} – коефіцієнт на інструментальний матеріал $K_{uv} = 1$

K_{lv} – коефіцієнт що враховує глибину свердління і $K_{lv} = 1$. При розсвердлюванні і зенкуванні литих або штампованих отворів вводиться додатково поправочний коефіцієнт K_{nv} (див. табл. 2).

Частоту обертання n , об/хв, розраховують за формулою

$$n = \frac{1000 v_p}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 2,87}{3,14 \cdot 100} = 12,5 \text{ об/хв},$$

де v_p – швидкість різання, м/хв; D – діаметр отвору, мм.

Після розрахунку частоти обертання приймають її найближче менше значення за паспортом верстата (додаток 3). Потім уточнюють швидкість різання по прийнятому значенню n_{np} .

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						14 1
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{np}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 12,5}{1000} = 3,9, м / хв$$

Крутний момент $M_{кр}$, Н·м, і осьову силу P_o , Н, розраховують за формулами:

під час свердління

$$M_{кр} = 10 C_m D^q s^y K_p = 10 \cdot 0,106 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 0,58 \cdot 0,75 = 29,9, Н \cdot м;$$

$$P_o = 10 C_p D^q s^y K_p = 10 \cdot 140 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 0,68 \cdot 0,58 \cdot 0,75 = 39585;$$

Значення C_m і C_p та показників ступеня q , x , y наведені в табл. 31. Коефіцієнт K_p , що враховує фактичні умови обробки, в даному випадку залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки і визначається виразом:

$$K_p = K_{mp}.$$

Висновок: Потужність не перевищує $N_e < N$, тому вибрана конструкція задовольняє .

Б.5 Опис конструкції та розрахунок кондуктора для свердління отворів

Для зручності свердління отвору діаметром 100 мм в деталі передбачене пристосування для свердлильного верстату – скальчатий кондуктор.

Кондуктор зображений на рисунку

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						142
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

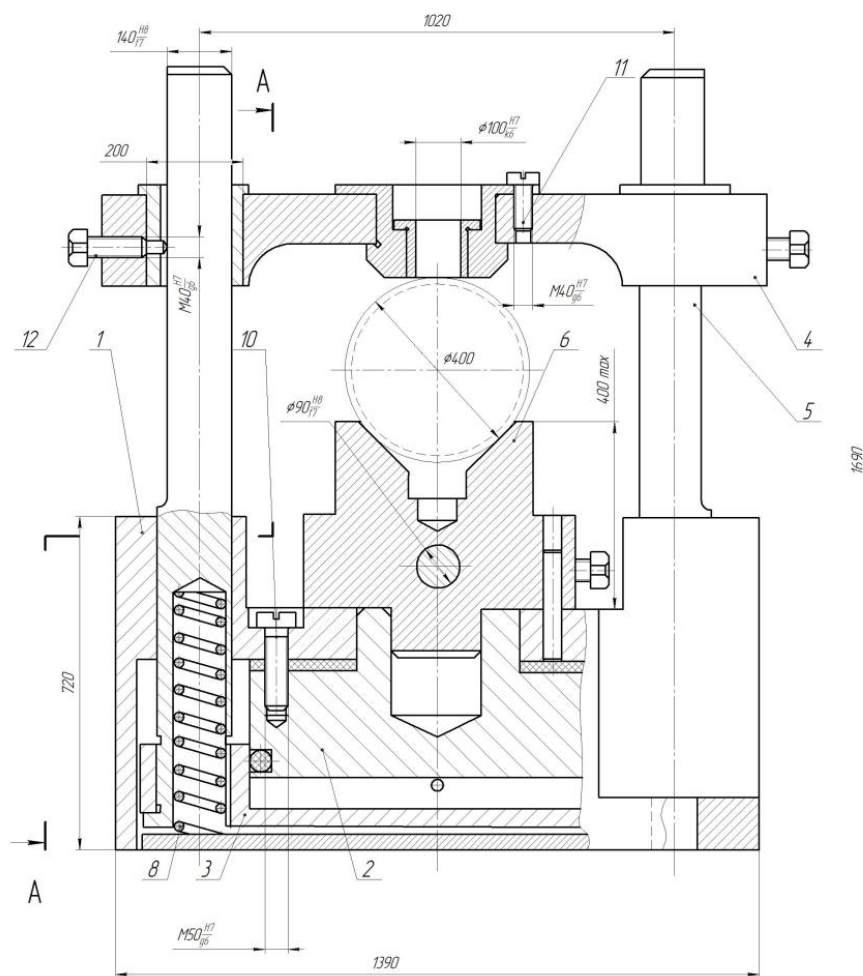


Рисунок Б.3 - Схема дії сил у пристосуванні для свердління.

Його основа встановлюється на столі верстата.

Заготовка встановлюється на призмі 1. Для настроювання на задану відстань від установочного торця до центра свердління служить переставний упор. Затискання відбувається при опусканні кондукторної плити 2, зв'язаної через направляючі колонки 3 з рухомим пневмо циліндром 4. Для повернення плити в початкове положення слугують пружини 5.

Вага патрона:

$$G = m \cdot g = 173 \cdot 9,81 = 1697 \text{ Н},$$

де $m = 173 \text{ кг}$ – маса патрона;

$g = 9.81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Коефіцієнт запасу при затисканні деталі [34]:

					ЛН71м.066632.001 ПЗ	Арк.
						143
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,73,$$

де $K_0 = 1,5$ – коефіцієнт гарантованого запасу [34];

$K_1 = 1$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання через випадкові нерівності на оброблюваних поверхнях [34];

$K_2 = 1,15$ – коефіцієнт, який характеризує збільшення сил різання внаслідок затуплення ріжучого інструменту;

$K_3 = 1$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при перервному навантаженні на інструмент;

$K_4 = 1$, $K_5 = 1$, $K_6 = 1$ – коефіцієнти, які залежать від конкретного типу затискного механізму пристосування.

Зусилля затискання, необхідне для збереження нерухомого стану деталі при свердлінні отворів [35]:

$$Q = \frac{K \cdot M_{кр}}{f \cdot r} - P_0 - G = \frac{1,73 \cdot 29,9}{0,16 \cdot 1,35} - 39585 - 1697,13 = -41042,52 \text{ Н},$$

де $M_{кр} = 2,65 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – крутний момент, створюваним свердлом;

$P_0 = 39585 \text{ Н}$ – осьова сила, що виникає при свердлінні;

$f = 0,16$ – коефіцієнт тертя по опорним поверхням пристосування [35];

$r = 1,35 \text{ м}$ – довжина поверхні тертя.

Висновок: від’ємна величина зусилля затискання свідчить про те, що деталь в процесі свердління отворів не потребує додаткової фіксації в пристосуванні. Втім, притискний механізм кондуктора все ж є необхідним елементом пристосування – він запобігає зміщенню оброблюваної деталі в результаті дії випадкових факторів: впливу вібрації, неточного встановлення заготовки тощо.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						144
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Калинин М. А. Точность обработки, заготовки и припуски на машиностроении: Справочник. – М.: Машиностроение, 1976. – 288 с.
2. Методические рекомендации к практическим занятиям и индивидуальной работе по дисциплине «Технология машиностроения» для студентов специальностей химического машиностроения / Сост. С. С. Добрянский. – К.: КПИ, 1991. – 91 с.
3. Методические указания и контрольные задания по дисциплине «Теория резания» для студентов специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» и слушателей ФПК. Расчет режимов резания при сверлении / Сост. В. В. Коваленко. – К.: КПИ, 1985. – 60 с.

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						145
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		

Додаток Г

Комп'ютерний розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки під дією внутрішнього надлишкового тиску

На рисунку Г.1 зображено блок-схему до розрахунку.



Рисунок Г.1 – Блок-схема розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки

Програма розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки

$$D := 2.4$$

$$p := 3.42$$

$$\Pi := 0.08 \cdot 10^{-3}$$

$$\tau := 15$$

$$\varphi := 1$$

$$\sigma := 134$$

$$S_p := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi - p} = 0.031$$

$$C1 := \Pi \cdot \tau = 1.2 \times 10^{-3}$$

$$S := S_p + C1 = 0.032$$

$$S := 40 \cdot 10^{-3}$$

$$C2 := 0.1 \cdot S = 4 \times 10^{-3}$$

$$C := C1 + C2 = 5.2 \times 10^{-3}$$

$$P := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = 3.83$$

$$P > p$$

$$S = 0.04$$

Ідентифікатори роз'яснені в табл. Г.1.

Таблиця Г.1 – Перелік ідентифікаторів

Найменування величин	Позначення	Ідентифікатор	Розмірність
1	2	3	4
Розрахунковий тиск	p	p	МПа
Діаметр апарата	D	D	м
Строк використання	τ	τ	рік
Швидкість корозії	Π	П	м/рік
Коефіцієнт міцності зварного шва	φ	φ	
Допустиме напруження матеріалу	$[\sigma]$	σ	МПа

стінки			
--------	--	--	--

Продовження таблиці Г.1.

1	2	3	4
Розрахункова товщина стінки	S_p	S_p	м
Виконавча товщина стінки	$S_{об}$	S	м
Сума додатків до товщини	C	C	м
Прибавка на компенсацію корозії	C_1	C_1	м
Прибавка на компенсацію мінусового допуску до товщини листа	C_2	C_2	м

Результати розрахунку за програмою товщини стінки циліндричної обичайки приведені в таблиці Г.2.

Таблиця Г.2 – Результати розрахунку за програмою

Найменування величин	Позначення	Числове значення	Розмірність
Виконавча товщина стінки	$S_{об}$	0,04	м

					ЛН71мп.066632.001 ПЗ	Арк.
						148
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		